PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano

CASI DI STUDIO NEL TERRITORIO REGIONALE TOSCANO

a cura di
Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti,
Alberto Niccolai, Leonardo Verdi

PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano : azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano / a cura di: Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi. – Firenze: Firenze University Press, 2022.
(Proceedings e report ; 133)

https://www.fupress.com/isbn/9788855185417

ISSN 2704-601X (print)
ISSN 2704-5846 (online)
ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF)
ISBN 978-88-5518-543-1 (XML)
DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

Front cover: © jakobradlgruber| 123rf.com

Realizzato grazie al contributo di:

Regione Toscana

Published by Firenze University Press
Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy
www.fupress.com

This book is printed on acid-free paper
Printed in Italy

Sommario

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*,
 published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

Introduzione

Chiara Bartalucci

A seguito dell'approvazione da parte dell'ONU dell'Agenda 2030, la Regione Toscana, in accordo con la strategia nazionale, ha elaborato una prima proposta di Strategia regionale di sviluppo sostenibile.

L'obiettivo è quello di analizzare, valutare e monitorare la conformità della situazione corrente rispetto ai 17 Sustainable Development Goals (SDGs), e conseguentemente avviare una propria strategia concreta di sostenibilità.

A partire dalle cinque dimensioni della sostenibilità, ovvero Persone, Pianeta, Prosperità, Pace e Partnership, la Regione Toscana si è concentrata sia sugli aspetti più strettamente legati alle possibili strategie da mettere in campo nei prossimi anni, sia sui relativi indicatori utili per il monitoraggio e sui risultati dei processi di partecipazione che hanno contribuito ad ampliare la visione generale.

È stato anche considerato l'apporto che le Università toscane hanno dato e possono continuare a dare in termini di approfondimenti specifici e di proposte future, per il raggiungimento degli obiettivi che il percorso di Agenda 2030 traccia per i prossimi anni.

I 17 SDGs hanno l'obiettivo di porre fine alla povertà, proteggere il pianeta ed assicurare prosperità a tutti, e sono finalizzati a realizzare un processo sostenibile che salvaguardi il pianeta e garantisca il benessere delle persone ed un'equa distribuzione dello sviluppo anche nel tempo.

Gli SDGs sono a loro volta articolati in 169 'target' o traguardi il cui raggiungimento è monitorato mediante una lista di oltre 230 indicatori.

In questo contesto l'Università di Firenze ha ricevuto il finanziamento dalla regione Toscana per lo svolgimento del progetto STREAMING.

STREAMING si propone di individuare delle strategie volte alla mitigazione e alla gestione dei rischi e dell'impatto ambientale in aree urbane e periurbane. Partendo da un approccio multidisciplinare, si punta alla definizione dei rischi e alla loro gestione, allo scopo di raggiungere il massimo livello di sostenibilità ambientale attraverso innovazioni di prodotto e di processo. La tematica "ambiente nelle aree urbane" ha molteplici risvolti e possibilità di interventi. Il progetto STREAMING si è orientato su cinque casi di studio, allo scopo di coinvolgere sinergicamente le principali aree di interesse ed analizzare le significative criticità ambientali legate al territorio toscano e ai settori produttivi regionali.

In particolare, i casi di studio si riferiscono alle tematiche di riduzione delle emissioni di gas climalteranti, sviluppo di sistemi energetici e bioenergetici ad alta efficienza, abbattimento dell'inquinamento ambientale e mitigazione del rischio idraulico in ambiente urbano. Nel dettaglio, i casi di studio sono i seguenti:

- 1. PAC – Il ruolo delle pratiche agricole nella mitigazione delle emissioni

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*,

published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

climalteranti

- 2. PhotoWING – Fotobioreattore automatizzato per alte efficienze fotosintetiche
- 3. EURECA – Progettazione, sviluppo e ottimizzazione di un nuovo bio-storage monostadio ad alta efficienza energetica e basso impatto ambientale
- 4. CALMA – Active noise control per il contenimento dell'impatto acustico delle sorgenti rumorose in ambiente outdoor.
- 5. FLORERISK – Riduzione dei rischi naturali in Firenze e nelle città d'arte

L'attività di ricerca è stata svolta in sinergia con imprese operanti nei diversi settori allo scopo sia di garantire un percorso di alta formazione per i ricercatori che risulti coerente con i problemi tecnico-produttivi del sistema regionale, sia di favorire un significativo avanzamento della conoscenza che risulti funzionale all'innovazione delle imprese.

Inoltre, il raggiungimento degli obiettivi progettuali potrà essere di supporto alle politiche di sviluppo regionale per la tutela ambientale e la salvaguardia del territorio.

I cinque casi studio, attraverso i risultati raggiunti e descritti nel presente documento, possono contribuire nello specifico ai seguenti SDGs:

- Goal 2: Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile. Le biomasse prodotte durante l'attività di ricerca del caso studio PhotoWING sono state utilizzate per prototipare e/o sviluppare alimenti innovativi, nutraceutici, o per la creazione di estratti da testare come biostimolanti, prodotti ad alto valore aggiunto, inserendosi in un'ottica complessiva di sviluppo sostenibile ed economia circolare. Tali prodotti, che presentano elevati profili nutrizionali e componenti salubri, risultano potenzialmente adeguati alle esigenze nutrizionali della popolazione. L'impiego del digestato come fertilizzante organico nel caso studio PAC fornisce rese colturali confrontabili con quelle ottenute con le fertilizzazioni chimiche ed impatti ambientali sensibilmente inferiori, fornendo le basi per lo sviluppo di modelli di coltivazione sostenibili che assicurino produzioni di cibo elevate.

Figura 1: Simbolo SDG 2 "Fame zero".

- Goal 3: Assicurare la salute e il benessere per tutti e per tutte le età. I prodotti alimentari innovativi, sviluppati nell'ambito del caso studio PhotoWING, caratterizzati da elevati profili nutrizionali e componenti salubri, contribuiscono a soddisfare le esigenze alimentari sia dei giovani che degli

adulti che degli anziani. Il caso studio CALMA propone un sistema di controllo attivo del rumore che contribuisce a ridurre il rischio del verificarsi di esiti negativi per la salute fisiologica e psicologica delle persone causati dalla prolungata esposizione all'inquinamento acustico.

Figura 2: Simbolo SDG 3 "Salute e benessere".

- Goal 7: Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni. Mediante il caso studio PhotoWING, si garantisce una maggiore produttività di biomassa per superficie occupata e un incremento di efficienza nell'utilizzo della luce, quando le microalghe sono coltivate in fotobiorettori innovativi integrati a luce LED.

Figura 3: Simbolo SDG 7 "Energia pulita e accessibile".

- Goal 8: Incentivare una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva ed un lavoro dignitoso per tutti. Il caso studio EURECA ha permesso lo sviluppo di tecnologia impiantistica innovativa. L'impiego di componentistica avanzata ha apportato diversi vantaggi in termini di prestazione dei dispositivi di conservazione "Ultra Low Temperature" e in semplificazione del processo di produzione, con ricadute positive nell'incremento del mercato, del personale impiegato e del know-how.

Figura 4: Simbolo SDG 8 "lavoro dignitoso e crescita economica".

- Goal 9: Costruire una infrastruttura resiliente e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile. Quanto ottenuto per il Goal 8 dal progetto EURECA ha ripercussioni anche nella promozione dell'innovazione e dell'industrializzazione equa, responsabile e sostenibile.

Figura 5: Simbolo SDG 9 "Imprese innovazione e infrastrutture".

- Goal 11: Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili. Dal momento che si prevede il verificarsi di un aumento dell'inquinamento acustico a causa della crescita della popolazione residente nei centri urbani, il caso studio CALMA fornisce uno strumento di controllo attivo del rumore che può contribuire ad una maggiore sostenibilità delle città. Nel caso studio FLORERISK viene affrontato il delicato tema della sicurezza del verde nei centri urbani, in particolare nelle città d'arte, rafforzando il suo ruolo già decisivo in ambito di sostenibilità. Si è infatti sviluppato uno strumento che, tenendo conto della vulnerabilità degli alberi, permetta di stimare il rischio che eventi estremi di vento possano causare danni a monumenti, edifici, veicoli o persone.

Figura 6: Simbolo SDG 11 "Città e comunità sostenibili".

- Goal 12: Garantire modelli sostenibili di produzione e consumo. Il sistema di coltivazione biologico adottato dal caso studio PAC assicura una riduzione degli impatti dall'attività agricola confermandosi come valida strategia di produzione di cibo sano e rispettoso dell'ambiente. Inoltre, l'impiego del digestato come fertilizzante organico fornisce rese colturali confrontabili con quelle ottenute con le fertilizzazioni chimiche ed impatti ambientali sensibilmente inferiori, soprattutto in fase di produzione, fornendo le basi per lo sviluppo di modelli di coltivazione sostenibili che garantiscano la valorizzazione delle risorse. La strategia di ottimizzazione termodinamica impiegata nel caso studio EURECA, con l'impiego di fluidi naturali e di materiali coibenti innovativi, ha generato modelli sostenibili.

Figura 7: Simbolo SDG 12 “Consumo e produzione responsabili”.

- Goal 13: Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e le sue conseguenze. La maggiore sostenibilità del processo energetico adottato dal caso studio PhotoWING comporta benefici in termini di ricadute ambientali, in particolare maggiore tutela e rispetto dell’ambiente e minore inquinamento atmosferico. Tali benefici sono avvalorati anche dalla produzione di cibo più sano, garantita attraverso il sistema di coltivazione biologico implementato dal caso studio PAC.

Figura 8: Simbolo SDG 13 “lotta contro il cambiamento climatico”.

Le strategie gestionali degli spazi verdi urbani definite all’interno del progetto PAC contribuiscono alla creazione di un modello di sviluppo sostenibile e a basso impatto capace di contrastare il fenomeno del cambiamento climatico. Inoltre, l’impiego del digestato come fertilizzante organico comporta una riduzione degli impatti ambientali.

La strategia di ottimizzazione termodinamica impiegata nel caso studio EURECA, l’impiego di fluidi naturali e di materiali coibenti innovativi ha portato a risultati significativi nella riduzione della pressione ambientale. Il GWP dei dispositivi è stato circa azzerato mentre il TEWI è stato ridotto più del 70%.

Infine, FLORERISK ha permesso di giungere a una procedura di quantificazione del rischio da caduta alberi soggetti a eventi meteorologici intensi, utile alle amministrazioni locali e/o altri soggetti interessati alla gestione del verde urbano. Tale strumento permette di pianificare opportuni interventi sul verde urbano in un’ottica di mitigazione del rischio, anche considerando il cambiamento climatico in atto.

Caso di studio PAC

Leonardo Verdi, Simone Orlandini

Abstract: Le emissioni generate dall'agricoltura rappresentano una criticità rilevante in chiave di sviluppo sostenibile. All'interno del sotto-progetto PAC sono state valutate differenti strategie di gestione della fertilizzazione e di coltivazione per definire i modelli agricoli competitivi e sostenibili. L'utilizzo del digestato come alternativa ai fertilizzanti di sintesi fornisce risultati promettenti sia in termini produttivi che ambientali, a patto che si adottino specifici accorgimenti. Dal confronto dei sistemi produttivi biologici con quelli convenzionali è stato possibile definire che, nonostante i minori impatti, l'agricoltura biologica mostra un potenziale produttivo inferiore a quello dell'agricoltura convenzionale con ripercussioni anche sulle performances ambientali del sistema.

Keywords: Anidride carbonica, Metano, Protossido di azoto, Ammoniaca, Fertilizzanti

Problematica

Il lavoro svolto all'interno del progetto STREAMING ha permesso di valutare gli impatti ambientali di differenti strategie di gestione della fertilizzazione e di differenti sistemi di coltivazione (biologico e convenzionale) su colture tipiche dell'areale regionale Toscano. I risultati ottenuti hanno permesso di identificare delle strategie di gestione agronomica capaci di soddisfare tre Obiettivi di Sviluppo Sostenibile definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite (United Nations, 2015): n 2. "fame zero", n. 12 "consumo e produzione responsabili", n. 13. "lotta contro il cambiamento climatico". La crescita della popolazione mondiale, che secondo stime recenti supererà i 10 miliardi di persone entro la fine del secolo, richiede al settore agricolo un notevole sforzo produttivo in quanto produttore primario di cibo (United Nations and Division, 2017). Dal 1961 l'approvvigionamento alimentare pro-capite è aumentato di oltre il 30% a seguito di un incremento nell'utilizzo di fertilizzanti azotati (circa 800%) e di risorse idriche per l'irrigazione (circa 100%). In questo senso, il sistema alimentare risulta essere sotto forte pressione a causa di fattori di stress antropici (crescita della popolazione, domanda di prodotti di origine animale, incremento delle superfici coltivate) e dei cambiamenti climatici. Il settore agricolo è responsabile di circa il 10% delle emissioni di gas serra dell'UE, risultando secondo solo al settore energetico. Più della metà di queste emissioni si deve alle attività di coltivazione

Chiara Bartalucci, University of Florence, Italy, chiara.bartalucci@unifi.it
Federico Fagioli, University of Florence, Italy, federico.fagioli@unifi.it, 0000-0002-3283-403X
Andrea Giachetti, University of Florence, Italy, andrea.giachetti@unifi.it, 0000-0001-5984-7124
Alberto Niccolai, University of Florence, Italy, alberto.niccolai@unifi.it, 0000-0002-3493-7219
Leonardo Verdi, University of Florence, Italy, leonardo.verdi@unifi.it, 0000-0001-7030-0496

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*, © 2022 Author(s), CC BY 4.0, published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

(principalmente per l'utilizzo di fertilizzanti di sintesi) e agli allevamenti (fermentazioni enteriche e gestione dei liquami) (Commissione Europea, 2020). Inoltre, una parte rilevante delle emissioni è dovuto al cambio d'uso del suolo (deforestazione e perdita di sostanza organica). Secondo stime recenti, le emissioni dal settore agricolo ammontano a circa 6.2 GtCO_2eq all'anno, che salgono a circa 11 GtCO_2eq all'anno se si include il cambio d'uso del suolo. Senza nessun intervento, queste proiezioni sono destinate ad aumentare del 30-40% entro il 2050 (Mbow et al., 2019). Per questi motivi la ricerca di strategie di gestione agronomica sostenibili che assicurino un utilizzo efficiente delle risorse, minimizzando le perdite e mantenendo allo stesso tempo rese elevate, ricopre un ruolo fondamentale in un'ottica di sviluppo sostenibile globale (Tilman et al., 2011). L'utilizzo dei fertilizzanti di sintesi, principalmente azotati e fosfatici, rappresenta una fonte rilevante di emissioni di gas serra sia per il loro utilizzo diretto in campo che per quanto riguarda la fase di estrazione e produzione a livello industriale (Tuomisto et al., 2012). La Commissione Europea, nella Strategia "Farm to Fork" (COM 381/2020), ha individuato l'obbiettivo della riduzione di almeno il 50% delle perdite di nutrienti entro il 2030. Allo stesso tempo prevede il mantenimento della fertilità dei suoli. Questo porterà alla riduzione di almeno il 20% dell'uso dei fertilizzanti. Tra le varie strategie per raggiungere tali obbiettivi, la Commissione Europea ha individuato le tecniche di valorizzazione dei processi di trasformazione degli scarti agricoli in fertilizzanti organici. In questo senso, l'impiego del digestato come fertilizzante rappresenta una strategia funzionale capace di ridurre gli impatti dell'attività agricola mantenendo le produzioni su livelli soddisfacenti (Verdi et al., 2019). Grazie al rapido sviluppo del settore del biogas a livello nazionale e regionale Toscano, l'impiego del digestato come fertilizzante sta conoscendo una rapida diffusione (Fabbri et al., 2013). Attualmente l'Italia risulta essere il secondo produttore europeo di biogas in cui la regione Toscana presenta circa il 2% degli impianti totali (ARPAT). Questo è principalmente dovuto ai volumi elevati che vengono prodotti a livello di singoli impianti, che possono raggiungere i 40.000 m^3 annui negli impianti di grandi dimensioni (1 MW), e al contenuto di macro e microelementi (Alburquerque et al., 2012).

L'agricoltura biologica può contribuire alla transizione verso un sistema produttivo agricolo sostenibile. All'interno della strategia "Farm to Fork" (COM 381/2020) viene dedicata un'intera sezione allo sviluppo del mercato dei prodotti biologici e al supporto per la diffusione dell'agricoltura biologica. In particolare, è stato definito l'obbiettivo di almeno il 25% della superficie agricola dell'UE investita ad agricoltura biologica entro il 2030. Questo può essere agevolato dalla crescente attenzione dei consumatori che stanno spostando sempre di più le loro preferenze verso il cibo locale e sano in un'ottica di sostenibilità. Già nell'ultimo decennio abbiamo assistito ad un significativo incremento delle superfici agricole condotte con regime biologico passando dai 24 milioni di ettari nel 2006 ai 71 milioni di ettari nel 2018 (Chiriacò et al., 2017; Willer et al., 2020). Tuttavia, il dibattitto sui reali impatti ambientali dell'agricoltura biologica è ancora aperto. Le rese inferiori e la maggior sensibilità agli stress biotici e abiotici rappresentano le principali criticità legate ai sistemi agricoli biologici. Per queste ragioni stiamo

assistendo ad un significativo sforzo scientifico per la definizione di quei modelli di gestione agronomica capaci di rendere l'agricoltura biologica competitiva con quella convenzionale e soddisfare le richieste alimentari globali (Tuomisto et al., 2012; Chiriacò et al., 2017).

Strategia

La valutazione degli impatti dell'attività agricola è stata svolta attraverso differenti sperimentazioni che hanno considerato alcune delle colture tipiche dell'areale Toscano (mais, orzo, cavolo nero, lattuga, girasole, frumento tenero) e delle specie da tappeto erboso comunemente impiegate per il rinverdimento degli ambienti urbani. All'interno del progetto sono stati valutati gli impatti ambientali, e le rese ottenibili, da differenti strategie di gestione della fertilizzazione e tra i sistemi di coltivazione biologico e convenzionale. La valutazione delle emissioni di gas serra dal suolo è stata svolta sfruttando un analizzatore portatile di gas e un sistema di camere chiuse (Verdi et al., 2019). La valutazione dell'efficienza delle strategie di gestione agronomica impiegate è stata svolta attraverso un'analisi delle produzioni sia in termini di rese (colture agrarie) che in termini di qualità (specie da tappeto erboso). Infine, è stata utilizzata la metodologia LCA per svolgere la valutazione degli impatti complessivi del processo produttivo del frumento tenero attraverso le principali categorie d'impatto.

L'impiego del digestato come fertilizzante organico rappresenta un'interessante opportunità in ottica di riduzione dell'uso di fertilizzanti di sintesi e riutilizzo degli scarti agricoli. All'interno del progetto PAC è stato confrontato l'effetto della concimazione organica, con digestato da reflui suini, con una concimazione chimica su cereali, mais e orzo, e ortive, cavolo nero e lattuga. Le prove sperimentali condotte all'interno del progetto hanno evidenziato un effetto positivo della fertilizzazione organica con digestato su tutte le colture analizzate. In particolare, è stato osservato come la fertilizzazione con digestato fornisce produzioni confrontabili con quelle ottenute da una fertilizzazione chimica (tabella 1).

Tabella 1. Produzioni di insilato di mais, granella di orzo, cavolo nero e insalata con differenti strategie di fertilizzazione.

	Mais		Orzo		Cavolo nero		Insalata	
	Digestato	Urea	Digestato	Nitrato di ammonio	Digestato	Nitrato di potassio	Digestato	Nitrato di potassio
Produzione (q ha^{-1})	218	216	57.69	47.92	190.9	163.9	193.7	151.4

Tuttavia, dall'analisi delle emissioni di gas serra emergono delle criticità dall'utilizzo del digestato come fertilizzante che richiedono particolari accorgimenti. La fertilizzazione con digestato nel periodo estivo determina emissioni superiori rispetto a quella chimica in termini di CO_2 e N_2O. Questo è principalmente dovuto al maggiore contenuto di sostanza organica ed acqua, rispetto ai fertilizzanti di sintesi, che favoriscono l'attività metabolica della popolazione batterica del suolo con un incremento della respirazione del suolo. Tuttavia, anche l'impiego di fertilizzanti di sintesi evidenzia delle criticità come ad esempio l'urea, nel caso studio del mais, che mostra emissioni significativamente superiori di NH_3 (≈ 66%) rispetto al digestato. In questo caso, dall'analisi delle emissioni cumulate di azoto (N_2O + NH_3) è stato osservato come l'impiego di digestato assicuri una riduzione delle perdite azotate di circa il 24%. Diversamente, la prova condotta sull'orzo, anche in relazione all'andamento climatico della stagione di crescita (temperature inferiori e piovosità maggiore rispetto al periodo di coltivazione del mais), ha evidenziato un minore impatto in termini di emissioni di gas serra nel trattamento con i fertilizzanti di sintesi (nitrato di ammonio). In particolare, l'impiego di digestato ha prodotto impatti pari a +40% di CO_2, +75% di N_2O e +65% di NH_3 rispetto al nitrato di ammonio. Utilizzando il GWP dei vari gas sono stati calcolati gli impatti totali ottenendo dei valori di emissioni pari a 2411.71 e 1660.09 kg CO_2eq per il digestato e il nitrato di ammonio, rispettivamente. Andamento simile è stato osservato per la coltura ortiva a ciclo invernale, il cavolo nero, in cui le emissioni prodotte dal digestato sono state superiori alla fertilizzazione chimica di circa il 50% per la CO_2 e di circa l'80% di N_2O. Tuttavia, è stato osservato un minore impatto in termini di emissioni di CH_4 di circa il 50% dall'utilizzo di digestato. Anche in questo caso, calcolando il GWP delle varie strategie di fertilizzazione sono stati osservati valori di 4119.62 e 1899.74 kg CO_2eq per il digestato e il nitrato di potassio, rispettivamente.

Questi risultati mostrano interessanti potenzialità per l'impiego di digestato come alternativa all'utilizzo dei fertilizzanti chimici a patto che siano adottate specifiche misure per il contenimento delle emissioni di gas serra. Inoltre, indipendentemente dall'entità delle emissioni dirette dal suolo, si assume un bilancio emissivo pari a zero del digestato grazie alla sua natura di prodotto di scarto di un processo di produzione di energia rinnovabile, il biogas. Questo rappresenta un punto di forza significativo di questa strategia di fertilizzazione, soprattutto considerando gli impatti medi per la produzione di 1 kg di fertilizzante

azotato di sintesi che ammonta a circa 6.5 kgCO_2eq. Normalmente per le coltivazioni di specie ortive vengono impiegati circa 200-250 kg ha^{-1} di fertilizzanti mentre per quelle cerealicole circa 180-200 kg ha^{-1}. Questi valori restituiscono un'indicazione chiara degli impatti che la produzione dei fertilizzanti ha sull'ambiente e sull'importanza, in un'ottica di transizione verso un sistema produttivo a bassi impatti, del riciclo di risorse aziendali (Obiettivi di Sviluppo Sostenibile", n.2 "fame zero", n. 12 "consumo e produzione responsabili" e n. 13. "lotta contro il cambiamento climatico).

Figura 1. Prova sperimentale su mais da insilato

Figura 2. Prova sperimentale su orzo

Figura 3. Piante di cavolo nero utilizzate per la prova sperimentale

Figura 4. Piante di lattuga utilizzate per la prova sperimentale

All'interno del progetto PAC è stato possibile analizzare le emissioni dirette di carbonio (CO_2 e CH_4) dal suolo del sistema colturale biologico e convenzionale su una coltura tipica dell'areale Toscano, il girasole. In particolare, è stato possibile monitorare l'effetto dei due differenti sistemi colturali in base alle diverse tecniche colturali utilizzate. I risultati hanno mostrato un impatto in termini di emissioni di CO_2 quattro volte superiore nel sistema biologico (circa 1900 kgCO_2 ha^{-1}) rispetto a quello convenzionale (circa 450 kgCO_2 ha^{-1}). Al contrario, non sono state osservate differenze significative in termini di emissioni di CH_4 con valori che sono risultati trascurabili rispetto alla CO_2. Tramite l'estrazione di DNA a livello del suolo, è stato possibile osservare come il sistema biologico mostri una popolazione batterica più sviluppata (circa 30%) ed attiva rispetto a quella del sistema convenzionale, motivando i maggiori livelli di emissioni di CO_2. Questo si deve principalmente all'utilizzo di pratiche agronomiche che escludono il ricorso a prodotti di sintesi come fertilizzanti, pesticidi o fungicidi. Tuttavia, nel sistema biologico è stato impiegato un sovescio come unico intervento di fertilizzazione, rispetto a quello convenzionale che invece ha utilizzato fertilizzanti di sintesi (solfato ammonico e urea). Questo ha contribuito a fornire delle rese colturali significativamente inferiori nel sistema biologico (circa 14 quintali ha^{-1}) rispetto a quello convenzionale (circa 21 quintali ha^{-1}). Se da un lato le rese di entrambi i sistemi si attestano al di sotto delle medie regionali, a causa delle condizioni particolarmente siccitose dell'annata 2018, dall'altro si nota come il sistema biologico mostri notevoli limiti produttivi che contrastano con l'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile n.2 "fame zero". Questo gap produttivo rappresenta uno dei punti di debolezza principali dei sistemi biologici che deve essere necessariamente essere ridotto, anche in considerazione alla crescita demografica mondiale. Tuttavia, il maggior sviluppo della popolazione batterica del sistema biologico mostra un maggiore potenziale di stoccaggio del carbonio ed una migliore capacità di mantenere la fertilità naturale dei suoli rispetto a quello convenzionale, soddisfacendo gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile", n. 12 "consumo e produzione responsabili" e n. 13. "lotta contro il cambiamento climatico".

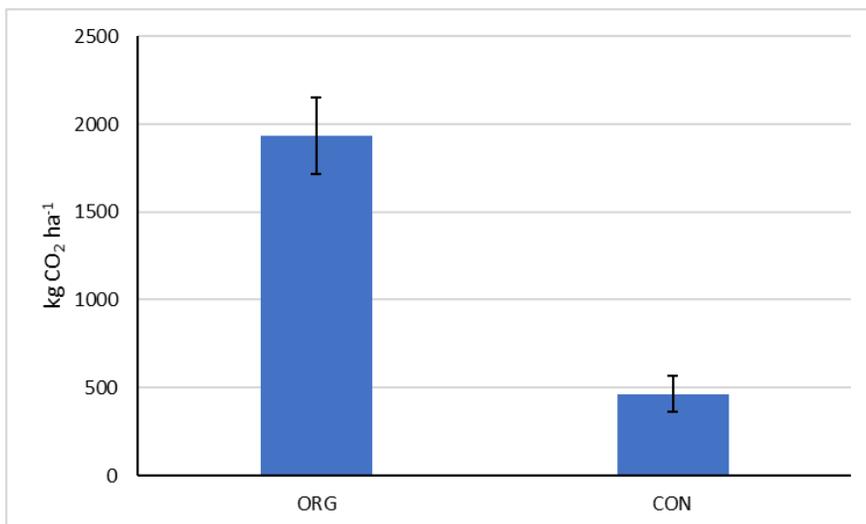
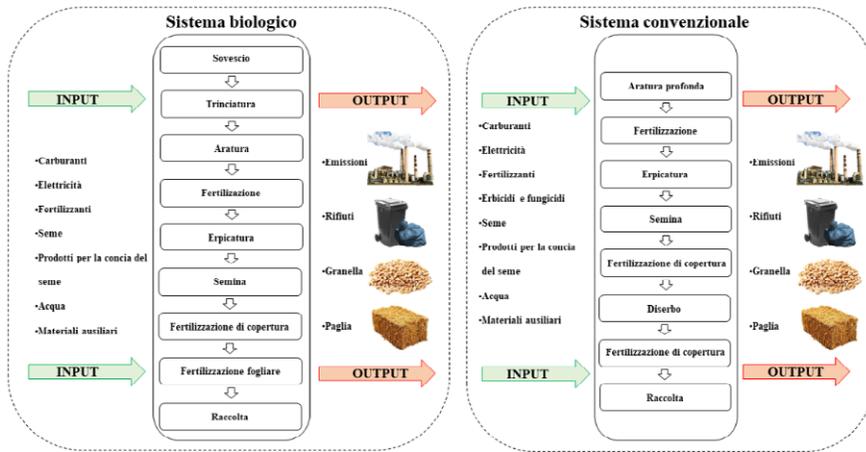
Figura 5. Emissioni cumulate di CO_2 durante il ciclo colturale del girasole dal sistema biologico (ORG) e dal sistema convenzionale (CON)

La valutazione degli impatti ambientali della gestione del verde in ambiente urbano ricopre un ruolo fondamentale nell'ottica di una riduzione della pressione ambientale delle attività antropiche. Lo studio svolto all'interno del progetto PAC fornisce indicazioni utili per definire quali siano le strategie di gestione ottimali del verde urbano in modo da abbattere le emissioni dirette, legate alla fertilizzazione dei tappeti erbosi, ed incrementare gli effetti benefici (riduzione urban heat island, incremento benessere cittadini, riduzione del cambiamento climatico ecc.). Lo studio è stato incentrato sulla valutazione delle emissioni di carbonio (CO_2 e CH_4) dal suolo su tutto il ciclo colturale di due specie da tappeto erboso comunemente utilizzate per il rinverdimento dell'ambiente urbano.

Figura 6. Sistema di camere statiche per il monitoraggio delle emissioni di CO_2 e CH_4 su tappeto erboso

Sono stati analizzati diversi livelli di fertilizzazione azotata ed è stata valutata la qualità del tappeto erboso tramite analisi visive e misurate (DGCI e NDVI). Questo ha permesso di individuare il livello di fertilizzazione ottimale per garantire lo sviluppo di un tappeto erboso funzionale e di qualità limitando gli impatti ambientali. Queste informazioni hanno contribuito alla definizione di un modello di gestione sostenibile delle specie da tappeto erboso in ambiente urbano che tenga conto della specie più indicata e del livello di fertilizzazione più adeguato. In particolare, la *Festuca arundinacea* produce una migliore qualità del tappeto erboso anche a dosi di fertilizzazioni azotate inferiori (50 kg ha^{-1}) con livelli di emissioni limitate rispetto alla C*ynodon dactylon*. L'applicazione di modelli di gestione sostenibile del verde urbano rappresenta un mezzo efficace di adattamento e mitigazione del fenomeno dei cambiamenti climatici.

Figura 7. Effetto della fertilizzazione azotata su tappeto erboso

Lo studio delle performance ambientali dei sistemi biologici e convenzionali è stato svolto anche sulla coltivazione di una varietà antica di frumento tenero, Verna, comunemente coltivato in Toscana. Attraverso la metodologia LCA sono stati analizzati i sistemi produttivi di 5 aziende biologiche e 5 aziende convenzionali uniformemente distribuite sulle province di Firenze, Siena, Arezzo e Grosseto. I confini del sistema sono stati riferiti a tutte le attività di coltivazione incluso il trasporto della granella al centro di stoccaggio, includendo: (i) produzione del seme; (ii) produzione e consumo di combustibili; (iii) produzione e utilizzo di fertilizzanti; (iv) produzione e distribuzione dei prodotti fitosanitari per i trattamenti; (v) trasporto degli input di coltivazione; (vi) consumo di acqua per la diluizione dei componenti utilizzati per la preparazione di prodotti fitosanitari; (vii) confezionamento degli input di coltivazione; (vii) trasporto dei prodotti dall'azienda al centro di stoccaggio. L'unità funzionale del sistema è stata definita come 1 kg di granella.

Figura 8. Modelli colturali del sistema biologico e del sistema convenzionale per la coltivazione del frumento Verna

I risultati dello studio hanno mostrato come il sistema di coltivazione biologico assicuri performance ambientali migliori rispetto al sistema convenzionale. Questo è dovuto al maggiore consumo di risorse non rinnovabili da parte del sistema convenzionale. In particolare, la produzione e l'utilizzo dei fertilizzanti azotati e fosfatici rappresenta una criticità rilevante per questo sistema di coltivazione. Tuttavia, a fronte di migliori performance ambientali, il sistema di coltivazione biologico evidenzia un gap produttivo rilevante rispetto a quello convenzionale (circa 1500 e 2800 kg granella ha^{-1}, rispettivamente). Le ridotte produzioni ottenibili dal sistema di coltivazione biologico si traducono, quindi, in una maggiore richiesta di superfici coltivabili per poter assicurare una produzione globale assimilabile a quella attuale del sistema di coltivazione convenzionale con conseguenti ripercussioni sull'ambiente. Questo richiede specifiche riflessioni sulla disponibilità delle superfici aggiuntive richieste, nonché sulla loro produttività, poiché l'incremento delle superfici coltivate richiederebbe l'inclusione di terreni marginali. Le informazioni ottenute da questo studio forniscono degli elementi chiave per una valutazione critica dei sistemi di coltivazione e per individuare i settori maggiormente impattanti in modo da definire modelli di coltivazione sostenibili sia da un punto di vista ambientale che produttivo. In questo senso, l'adozione di tecniche di agricoltura di precisione atte ad aumentare l'efficienza d'uso dei nutrienti potrebbe contribuire ad aumentare le rese dei sistemi di coltivazione biologici e ridurre gli impatti sull'ambiente. Soluzioni di questo tipo forniscono un contributo tangibile agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile n 2. "fame zero", n. 12 "consumo e produzione responsabili", n. 13. "lotta contro il cambiamento climatico", individuati in questo progetto. Inoltre, il miglioramento dei sistemi biologici si pone in linea con le indicazioni fornite dalla strategia "Farm to Fork" (COM 381/2020) per il raggiungimento di almeno il 25% delle superfici agricole dell'UE investite da agricoltura biologica

entro il 2030.

Tabella 2. Impatti ambientali del processo di produzione del grano Verna tra i sistemi di agricoltura biologica (ORG) e convenzionale (CON)

			MP	FM	UF	HFS	AM	WM	DLO	TOTAL
GLW	kg CO_2 eq	ORG	2.70E-01	1.00E-02	2.00E-02	5.00E-02	3.08 E-03	4.20 E-03	-	3.60E-01
		CON	1.70E-01	2.30E-01	1.40E-01	4.00E-02	1.69 E-03	1.31 E-03	-	5.80E-01
FET	kg 1,4-DB eq	ORG	3.03 E-03	5.18 E-03	0.00E+00	4.96 E-03	3.51 E-04	1.31 E-03	-	1.00E-02
		CON	1.88 E-03	4.00E-02	0.00E+00	3.68 E-03	1.91 E-04	4.07 E-04	-	5.00E-02
SET	kg 1,4-DB eq	ORG	1.10E+01	2.62E+01	0.00E+00	1.51E+01	1.30E+00	2.50E+00	-	5.61E+01
		CON	6.85E+00	1.50E+02	0.00E+00	1.23E+01	7.10E-01	7.80E-01	-	1.70E+02
TET	kg 1,4-DB eq	ORG	1.72 E-04	5.56 E-05	0.00E+00	4.66 E-05	1.59 E-06	2.78 E-06	-	2.79 E-04
		CON	1.07 E-04	4.32 E-04	0.00E+00	4.00 E-05	8.57 E-07	8.71 E-07	-	5.80 E-04
HUT	kg 1,4-DB eq	ORG	1.00E-02	9.83 E-03	6.26 E-06	1.00E-02	3.51 E-04	6.69 E-04	-	4.00E-02
		CON	9.47 E-03	9.00E-02	5.61 E-05	7.86 E-03	1.89 E-04	2.09 E-04	-	1.10E-01
ACD	kg SO_2 eq	ORG	2.44 E-03	9.98 E-05	1.00 E-04	4.24 E-04	1.05 E-05	1.13 E-05	-	3.08 E-03
		CON	1.51 E-03	1.22 E-03	8.98 E-04	2.61 E-04	5.72 E-06	3.51 E-06	-	3.90 E-03
EUT	kg PO_4^{---} eq	ORG	5.51 E-04	3.52 E-05	8.03 E-04	2.20 E-04	2.08 E-06	6.05 E-06	-	1.62 E-03
		CON	3.42 E-04	4.47 E-04	4.26 E-03	3.55 E-04	1.13 E-06	1.88 E-06	-	5.41 E-03
POF	kg C_2H_4 eq	ORG	4.74 E-05	4.98 E-06	0.00E+00	1.05 E-05	6.62 E-07	2.22 E-06	-	6.58 E-05
		CON	2.94 E-05	3.75 E-05	0.00E+00	5.27 E-06	3.61 E-07	6.88 E-07	-	7.32 E-05
OLD	kg CFC-11 eq	ORG	5.18 E-08	1.04 E-09	0.00E+00	8.55 E-09	5.11 E-11	3.33 E-10	-	6.18 E-08
		CON	3.22 E-08	1.80 E-08	0.00E+00	3.87 E-09	2.61 E-11	1.04 E-10	-	5.41 E-08
NRC	MJ	ORG	4.24E+00	2.06 E-01	0.00E+00	7.70E-01	9.00E-02	2.00E-02	-	5.34E+00
		CON	2.64E+00	2.17E+00	0.00E+00	3.60E-01	5.00E-02	5.56 E-03	-	5.23E+00
RRC	MJ	ORG	8.36 E-03	2.00E-02	0.00E+00	7.34 E-03	2.30 E-03	8.94 E-04	-	3.00E-02
		CON	5.19 E-03	7.00E-02	0.00E+00	6.45 E-03	1.27 E-03	2.78 E-04	-	9.00E-02
WAC	m^3	ORG	6.50E-02	9.00E-02	0.00E+00	5.00E-02	7.94 E-03	8.10 E-03	-	2.20E-01
		CON	4.30E-02	5.50E-01	0.00E+00	5.00E-02	4.80 E-03	2.54 E-03	-	6.50E-01
LAU	m^2	ORG	3.30 E-04	1.09 E-03	0.00E+00	9.60E-01	1.45 E-04	6.89 E-05	6.56E+00	7.53E+00
		CON	2.05 E-04	1.00E-02	0.00E+00	2.50E-01	7.93 E-05	2.17 E-05	3.62E+00	3.89E+00

Legenda: GLW = Riscaldamento Globale; FET = Ecotossicità dell'acqua dolce; SET = Ecotossicità delle acque marine; TET = Ecotossicità terrestre; HUT = Tossicità umana; ACD = Acidificazione; EUT = Eutrofizzazione; POF = Formazione fotoossidante; OLD = Riduzione dello strato di ozono; NRC = Consumo di risorse energetiche non rinnovabili; RRC = Consumo di risorse energetiche rinnovabili; WAC = Consumo d'acqua; LAU = Uso del suolo. MP = Operazioni colturali; FM = Produzione di fertilizzanti; UF = Uso di fertilizzanti; HFS = Produzione di erbicidi, fungicidi e concia del seme; AM = Materiali ausiliari; WM = Materiali di scarto; DLO = Occupazione diretta del suolo (solo per la categoria di impatto LAU). DLO si riferisce solo a LAU e quindi non mostra alcuna corrispondenza con le altre categorie di impatto.

Impatti

- L'impiego del digestato come fertilizzante organico fornisce rese confrontabili alla fertilizzazione chimica contribuendo al soddisfacimento degli Obbiettivi di Sviluppo Sostenibile n. 2 "fame zero", n.12 "consumo e produzioni responsabili" e n. 13 "lotta contro il cambiamento climatico". La diffusione di fertilizzanti organici ottenuti da scarti dei processi agricoli rappresenta una strategia interessante per il mantenimento della fertilità naturale dei suoli, il

mantenimento delle produzioni agricole elevate e la riduzione delle emissioni di gas serra. La possibilità di sfruttare i sottoprodotti agricoli come fonte di nutrienti rappresenta una strategia di gestione sostenibile e di utilizzo efficiente delle risorse naturali, riduzione degli sprechi e riciclo delle risorse. La sostituzione, totale o parziale, dei fertilizzanti di sintesi con digestato rappresenta un'opportunità per ridurre i costi dell'attività agricola legati all'acquisto dei fertilizzanti di sintesi. L'adozione di specifiche strategie di gestione del digestato permette di minimizzare gli impatti ambientali e incrementare sensibilmente il ruolo dell'agricoltura per la lotta al cambiamento climatico.

- L'agricoltura biologica rappresenta una strategia produttiva capace di soddisfare numerosi Obbiettivi di Sviluppo Sostenibile grazie alla possibilità di produrre alimenti sani, con ridotti impatti ambientali e capaci di contribuire alla lotta al cambiamento climatico attraverso l'adozione di pratiche agricole resilienti capaci di garantire sistemi di produzione alimentare sostenibili. Tuttavia, ad oggi permane la criticità legata alle rese inferiori rispetto ai sistemi di coltivazione convenzionali. L'impiego di tecniche di agricoltura di precisione, di cover crops funzionali, dell'intercropping e lavorazioni conservative, possono in questo senso contribuire ad aumentare le rese dei sistemi di coltivazione biologici ed assicurare produzioni di cibo soddisfacenti.
- La definizione di modelli di gestione del verde urbano capaci di massimizzare le ricadute positive che limitano gli impatti ambientali rappresenta un cardine dello sviluppo sostenibile in città, per il miglioramento del benessere dei cittadini e per la lotta al cambiamento climatico. Questi modelli possono rappresentare delle linee guida per la pianificazione e gestione di interventi inerenti alla lotta al cambiamento climatico in ambiente urbano.

Sviluppi

I risultati ottenuti dal progetto contribuiscono alla definizione di sistemi di coltivazione sostenibili per l'agricoltura toscana capaci di contribuire al conseguimento degli obbiettivi fissati all'interno dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Specifiche azioni di sostegno all'impiego di fertilizzanti organici ottenuti dal riciclo delle risorse aziendali rappresentano una opportunità per uno sviluppo sostenibile dell'agricoltura Toscana in cui gli agricoltori forniscono un contributo concreto per la lotta al cambiamento climatico e garantendo la produzione di cibo di qualità. In questo senso, il progresso in agricoltura biologica per una massimizzazione delle rese affiancata ad un mantenimento di alte performance ambientali rappresenta un fattore determinante in questa sfida.

La pianificazione dello sviluppo degli ambienti urbani dovrà tenere in considerazione la funzionalità delle aree verdi in un'ottica di crescita sostenibile delle città. I punti su cui tali pianificazioni dovranno basarsi sono fondamentalmente rappresentati dalla scelta di specifiche specie vegetali che si adattino alle condizioni urbane e la definizione di modelli gestionali capaci di mantenere elevati standard qualitativi e bassi impatti ambientali.

Note bibliografiche

ARPAT. http://sira.arpat.toscana.it/apex2/f?p=137:3:0

Alburquerque, J.A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J., Bernal, M.P., (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. Eur. J. Agron. 43, 119–128. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.06.001

Chiriacò M. V., Grossi G., Castaldi S., Valentini R., (2017). The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy. Journal of Cleaner Production, Volume 153: 309-319 DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.111

Commissione Europea, (2020). Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeao, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Una strategia “Dal produttore al consumatore” per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell’ambiente. COM (2020) 381

Fabbri, C., Labartino, N., Manfredi, S., Piccinini, S., 2013. Biogas, il settore è strutturato e continua a crescere. Inf. Agrar. 11, 11–18.

Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, Y. Xu, 2019: Food Security. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America 108:50, 20260-20264.

Tuomisto H.L., Hodge I.D., Riordan P., Macdonald D.W., (2012). Does organic farming reduce environmental impacts? A meta-analysis of European research. J. Environ. Manag. 112: 309-320 DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018

United Nations General Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 21 October 2015, A/RES/70/1

https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html

United Nations, D.E.S.A., Division, Pop, 2017. World Population Prospects: the 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. ESA/P/WP/248.

Verdi L., Kuikman P.J., Orlandini S., Mancini M., Napoli M., Dalla Marta A., (2019a). Does the use of digestate to replace mineral fertilizers have less emissions of N2O and NH3? Agric. For. Meteorol., 269: 112-118. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.004

Willer H., Schlatter B., Trávníček J., Kemper L., Lernoud J., (2020). The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2020. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn

Caso di studio PhotoWING

Alberto Niccolai, Liliana Rodolfi, Mario R. Tredici

Abstract: La maggiore produttività per superficie occupata e l'incremento di efficienza di utilizzo della luce, quando le microalghe sono coltivate in fotobiorettori integrati a luce LED, si traduce in un'ottimizzazione dell'uso delle risorse con benefici in termini di ricadute ambientali (SDGs 7 e 13). Le biomasse prodotte durante il progetto sono state utilizzate per sviluppare alimenti innovativi o per la preparazione di estratti testati come nutraceutici, prodotti ad alto valore aggiunto, inserendosi in un'ottica di economia circolare. Tali prodotti risultano potenzialmente adeguati alle esigenze nutrizionali di bambini, donne in gravidanza e anziani (SDGs 2 e 3). Inoltre le biomasse sono state utilizzate nella formulazione di biostimolanti che hanno mostrato effetti positivi su crescita e resistenza in vitigni sottoposti a stress idrico (SDG2).

Keywords: Microalghe, fotobioreattori, luce artificiale, nutraceutica, farmaceutica

Problematica

Il mercato delle microalghe ha un valore di circa 700 milioni di US$ (first-sale value) a livello globale (Hu, 2019). Le microalghe possono contenere elevate quantità di proteine, vitamine, minerali (Becker, 2007) carotenoidi (Wu et al., 2016), e acidi grassi polinsaturi a catena lunga (Becker, 2004). Per questa ragione la biomassa microalgale è sempre più utilizzata per produrre alimenti funzionali, integratori alimentari, cosmetici e mangimi per l'acquacoltura, con una produzione mondiale stimata di oltre 20.000 tonnellate anno-1 di sostanza secca (Hu, 2019). Uno dei fattori che limita maggiormente il diffondersi delle tecnologie produttive delle biomasse algali è l'alto costo di produzione (stimato in circa 12 € kg-1) per un impianto di medie dimensioni (Tredici et al., 2016). I fattori di produzione che incidono maggiormente sul costo della biomassa sono il costo della manodopera (40%) e l'ammortamento dei costi capitali (23%) (Tredici et al., 2016). Inoltre, le condizioni climatiche e la stagionalità influenzano notevolmente il processo produttivo della biomassa microalgale all'aperto, rendendo poco vantaggiosa, almeno in Italia, la coltivazione nei mesi invernali. Con lo sviluppo della tecnologia LED (Light Emitting Diodes) l'agricoltura tradizionale riesce a ridurre l'influenza delle condizioni climatiche sulla produzione, coltivando ortaggi in serre integrate

Chiara Bartalucci, University of Florence, Italy, chiara.bartalucci@unifi.it
Federico Fagioli, University of Florence, Italy, federico.fagioli@unifi.it, 0000-0002-3283-403X
Andrea Giachetti, University of Florence, Italy, andrea.giachetti@unifi.it, 0000-0001-5984-7124
Alberto Niccolai, University of Florence, Italy, alberto.niccolai@unifi.it, 0000-0002-3493-7219
Leonardo Verdi, University of Florence, Italy, leonardo.verdi@unifi.it, 0000-0001-7030-0496

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*, published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

con luce artificiale (Sabzalian et al., 2014). Anche le microalghe si possono avvantaggiare di questa tecnologia, sia come unica fonte luminosa o ad integrazione di quella solare.

Il lavoro svolto durante il progetto STREAMING ha permesso di testare fotobioreattori (PBRs) di nuova concezione per la crescita di microalghe, garantendo alte prestazioni. Sono state analizzate le componenti biochimiche delle biomasse microalgali cresciute a luce LED a differenti spettri e intensità luminose ed i loro estratti al fine di ottenere biostimolanti, prodotti nutraceutici e farmaceutici. Le biomasse prodotte sono state utilizzate per realizzare prodotti ad alto valore aggiunto, inserendosi in un'ottica complessiva di sviluppo sostenibile ed economia circolare.

Strategia

Il progetto si è occupato di individuare i sistemi di illuminazione LED più idonei sia dal punto di vista dell'intensità luminosa che dello spettro di emissione, ma anche della geometria e caratteristiche delle lampade più adatte a tale scopo. I ricercatori del gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Tredici, in collaborazione con l'azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl (F&M), hanno ideato e progettato sistemi di illuminazione LED che sono stati realizzati da un'azienda esterna (figura 1).

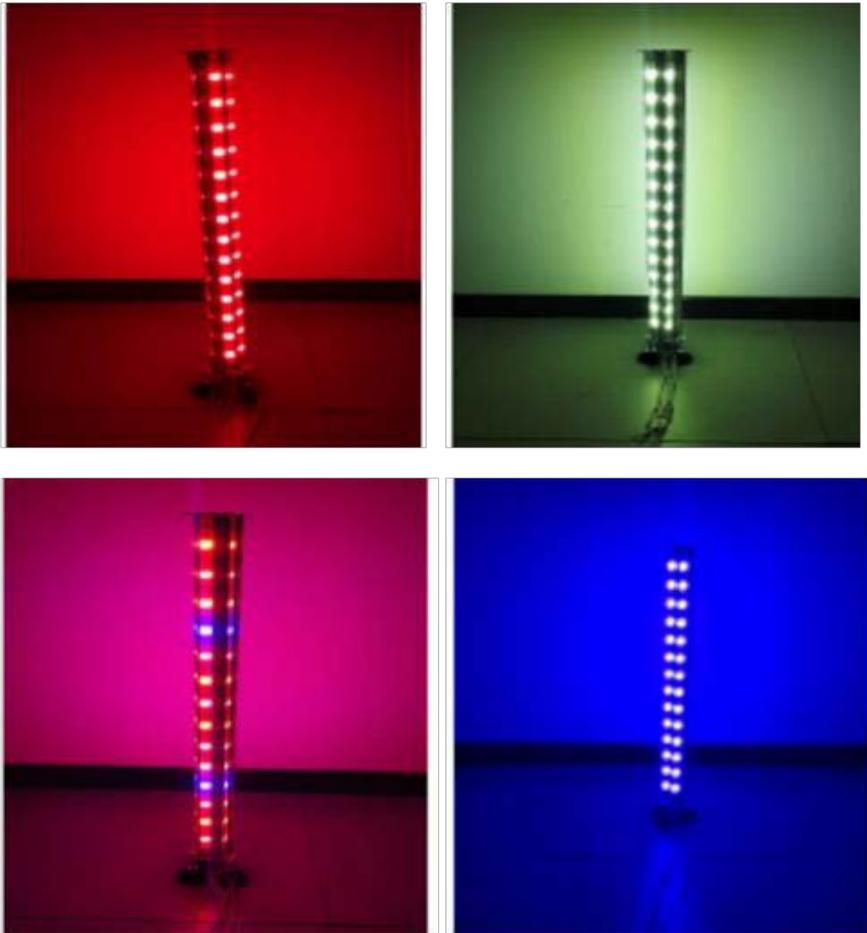
Figura 1. Sistemi di illuminazione LED a differenti spettri di emissione: rosso, bianco, viola e blu (da sinistra verso destra)

L'utilizzo della luce artificiale richiede modifiche anche al design dei PBRs, che devono mirare ad un più efficiente utilizzo della radiazione luminosa. F&M, ha progettato sistemi di coltura a colonna anulare che più si adattano a tale scopo (figure 2 e 3).

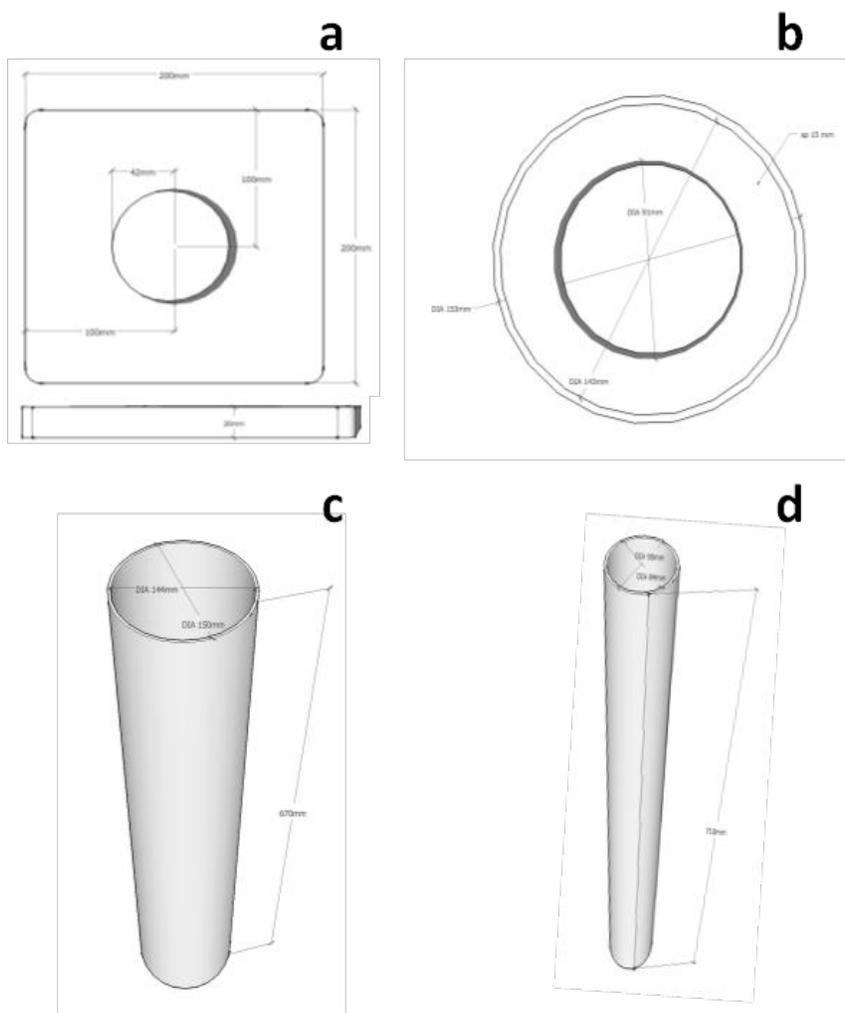
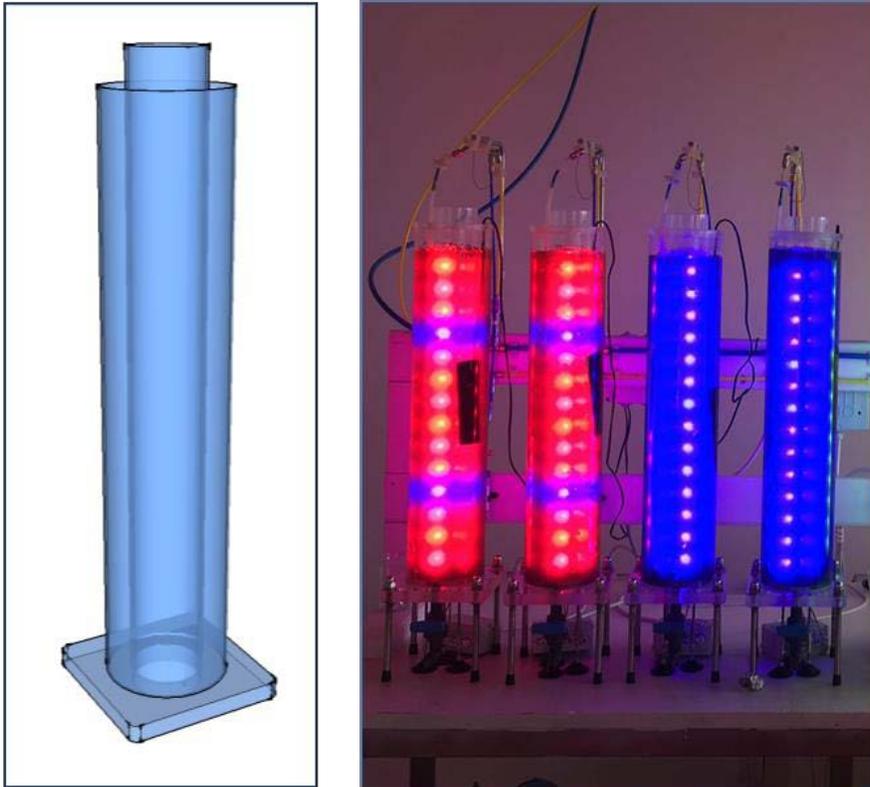
Figura 2. Progetto CAD dei componenti delle colonne anulari: base (a), tappo di chiusura superiore (b), cilindro esterno (c) e cilindro interno (d)

In totale sono state realizzate otto colonne anulari integrate con sistemi di illuminazione LED.

Figura 3. Vista 3D della colonna anulare (sinistra) e 2D delle colonne anulari integrate a luce LED (destra)

Il materiale selezionato per la realizzazione delle colonne è polimetilmetacrilato estruso, resistente all'esposizione a raggi UV nel caso venga integrata alla luce artificiale quella naturale. La capienza volumetrica massima della camera di coltura è pari a 6 L. Il cammino ottico della camera colturale è stato ottimizzato per poter raggiungere alte concentrazioni di biomassa in modo da ridurre l'utilizzo del mezzo di coltura (e conseguenti spese connesse alla sua preparazione), oltre ad agevolare le operazioni di raccolta della coltura. Alla base della colonna è stata posizionata una tubazione flessibile per insufflare la miscela di aria e CO_2 e sono stati realizzati fori di 1.5 mm distanziati circa 5 cm l'uno dall'altro. Il diametro e la distanza dei fori sono stati studiati appositamente sia per aumentare la solubilizzazione della CO_2 che per rimuovere l'ossigeno prodotto dall'attività fotosintetica ed ottenere un corretto mixing della coltura. La colonna è sorretta da un piedistallo che consente l'inserimento alla base di una valvola finalizzata all'agevolazione delle operazioni di raccolta e pulizia del reattore. Sono state selezionate come sistema di termostatazione delle resistenze elettriche in plastica da 25 W, inserite dalla sommità del reattore ed immerse nella coltura, al

fine di mantenere la temperatura entro range ottimali. Tutti questi accorgimenti tecnologici sono volti a ottimizzare l'uso delle risorse ed incrementare la sostenibilità della produzione della biomassa algale.

Arthrospira platensis F&M-C256 (commercialmente nota come spirulina), ceppo appartenente alla Collezione Colturale di F&M è stata coltivata nelle otto colonne anulari sopra descritte (Fig. 4). Nel nostro studio le densità di flusso di fotoni fotosintetici (PPFD) utilizzate per coltivare spirulina sono state 100, 300 e 900 μmol fotoni m^{-2} s^{-1}. Sulla base di ricerche bibliografiche e di precedenti prove sperimentali (Abiusi et al., 2014) sono stati selezionati quattro differenti spettri di emissione: rosso, bianco, viola (mix composto per l'85% da rosso e 15% da blu) e blu.

Figura 4. Colonne con spirulina illuminate con luce LED a diversi spettri di emissione

Parte delle biomasse algali prodotte durante l'attività di ricerca sono state utilizzate per sperimentazioni preliminari utili a prototipare alimenti innovativi o per la preparazione di estratti da testare come biostimolanti.

Al fine di valutare l'attività biostimolante di spirulina è stato condotto un esperimento su *Vitis vinifera* cv Pinot Nero (Salvi et al., 2020). La biomassa di spirulina è stata utilizzata per la preparazione di un estratto da utilizzare come biostimolante. Lo studio si è concentrato sulle risposte fisiologiche della vite, sulla resa e sulla qualità dell'uva per viti coltivate in vaso, sia in condizioni idriche ottimali sia in condizioni di stress da deficit idrico.

Durante il progetto sono stati sviluppati quattro prodotti a base di spirulina: pasta (Fradinho et al., 2020), crackers (Batista et al., 2019), crostini (Niccolai et al., 2019a), ed una bevanda probiotica senza lattosio (Niccolai et al., 2020a). I prodotti alimentari integrati con biomassa di spirulina a varie concentrazioni (da 1

a 10%) sono stati caratterizzati per prestazioni tecnologiche e nutrizionali, in particolare in termini di proprietà meccaniche/reologiche, principali componenti nutrizionali, capacità antiossidante, digeribilità *in vitro* e analisi sensoriale. Sono stati inoltre considerati approcci tecnologici innovativi volti a proteggere la ficocianina, il componente bioattivo più interessante di spirulina, che presenta elevata sensibilità al calore e può degradarsi perdendo le sue funzioni biologiche durante la cottura (Niccolai et al., 2020b). Gli impasti a base di spirulina sono stati incorporati con olio EVO o di girasole (10 g di olio/100 g di impasto) e trattati termicamente per studiarne l'effetto protettivo. La biomassa di spirulina è stata inoltre valutata come substrato per la fermentazione lattica, da parte del batterio *Lactiplantibacillus plantarum* (LAB8014), per ottenere bevande funzionali a base di soia o acqua ricche in probiotici. I prodotti fermentati sono stati valutati in termini di contenuto di batteri e di acidi organici, composizione biochimica, fenoli totali, contenuto di ficocianina, digeribilità *in vitro*, attività antiossidante *in vitro* e *in vivo*.

Impatti

I risultati ottenuti sono in accordo con quattro Obiettivi di Sviluppo Sostenibile definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite come strategia per ottenere un futuro migliore e più sostenibile, nello specifico gli obiettivi n. 2. "Fame zero", n. 3. "Salute e benessere", n. 7. "Energia pulita e accessibile" e n. 13. "Agire per il clima".

Ad oggi la maggior parte della biomassa microalgale commercializzata è prodotta in sistemi di coltura all'aperto, soprattutto vasche raceway (Tredici, 2004; Chini Zittelli et al., 2013). La biomassa è utilizzata principalmente per la preparazione di prodotti ad alto valore quali integratori alimentari, cosmetici e biostimolanti (Lu e Xu, 2015; Bleakley e Hayes, 2017; García et al., 2017). Il maggiore prezzo di vendita di tali prodotti rispetto ai prodotti di largo consumo (ingredienti alimentari, biocombustibili) in alcuni casi rende economico l'utilizzo della luce artificiale. Ad oggi i PBRs con sola luce artificiale sono prevalentemente utilizzati per produrre l'inoculo di partenza e per l'ottenimento di prodotti di alto valore, per ricerca e/o per applicazioni su piccola scala (Tredici et al., 2018). Tuttavia, recentemente sempre più aziende interessate alla coltivazione di microalghe si stanno affidando alla tecnologia LED.

I LED sono efficaci fonti di luce artificiale a basso costo per la coltivazione di organismi fotosintetici come le microalghe (Abiusi et al., 2014; Blanken et al., 2013). Tali dispositivi sono di lunga durata (circa 50.000 ore), privi di mercurio e possono fornire luce quasi monocromatica a varie lunghezze d'onda (DOE, 2013). L'adozione della luce artificiale al posto della radiazione solare porta diversi vantaggi, tra i quali possibilità di: 1) avere una produzione stabile e continua durante tutto l'anno svincolandosi dalle condizioni ambientali; 2) contenere i contaminanti, potendo integrare i LED in PBRs chiusi; 3) aumentare la produttività per superficie occupata (non si è vincolati dalla radiazione solare incidente per unità di suolo) e di lavorare in luce continua (eliminando così la respirazione

notturna che riduce la produttività netta); 4) indirizzare la produzione verso metaboliti d'interesse (pigmenti o composti prodotti da condizioni di stress); 5) adattare la radiazione luminosa ai reali fabbisogni della coltura, aumentando l'efficienza di utilizzo della luce e riducendo lo stress; 6) dimensionare correttamente le tubazioni, i sistemi di controllo della temperatura e i sistemi accessori (sistemi di raccolta, preparazione e rigenerazione del mezzo di coltura) grazie al processo produttivo più stabile e continuo che non deve adattarsi alle fluttuazioni dovute alla stagionalità. La maggiore produttività per superficie occupata e l'incremento di efficienza di utilizzo della luce, quando le microalghe sono coltivate in PBRs integrati a luce LED, si traduce in una maggior sostenibilità del processo con benefici in termini di ricadute ambientali. In senso lato le lampade LED sono un'ottima soluzione dal punto di vista del risparmio energetico, garantendo un elevato contenimento dei consumi, riducendo i costi energetici rispetto a tutte le altre fonti di luce artificiale (nello specifico di circa il 70% rispetto ai NEON) (Gianesini, 2010). La diretta conseguenza del minore consumo energetico è una maggiore tutela e rispetto dell'ambiente, in quanto la produzione di energia avviene nella maggioranza dei casi con processi tecnologici che implicano produzione di sostanze tossiche ed inquinamento atmosferico, quindi minori consumi si traduce direttamente in minore impatto ambientale. Quanto sopra espresso è in accordo con gli obiettivi n. 7. "Energia pulita e accessibile" e n. 13. "Agire per il clima", in particolare è pertinente ai punti 7.3 "raddoppiare entro il 2030 il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica", 13.2 "integrare le misure di cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazione nazionali" e 13.3 "migliorare l'istruzione, la sensibilizzazione e la capacità umana e istituzionale per quanto riguarda la mitigazione del cambiamento climatico, l'adattamento, la riduzione dell'impatto e l'allerta tempestiva".

La produttività della biomassa è stata significativamente influenzata dalle varie lunghezze d'onda utilizzate. La più elevata efficienza fotosintetica (9.7%) è stata trovata per la biomassa coltivata a luce viola all'intensità di 100 µmol fotoni m^{-2} s^{-1}. Clorofilla, carotenoidi e ficocianina sono stati influenzati dalla luce utilizzata e, per tutti gli spettri testati, il loro contenuto è diminuito all'aumentare dell'intensità. Il contenuto in fenoli totali non è significativamente differente tra le biomasse cresciute con luce rossa, viola e bianca, mentre la luce blu riduce la produzione di fenoli a tutte le intensità testate. Non è stata trovata nessuna differenza nella morfologia di spirulina tra le colture coltivate con i differenti spettri di luce. I risultati ottenuti ci hanno permesso di comprendere quali intensità e spettri massimizzano la produzione della biomassa e dei componenti di pregio, utili ad ottenere prodotti nutraceutici e farmaceutici.

Per quanto riguarda l'obiettivo n. 2. "Fame zero", il progetto è in accordo con il punto 2.4 che "auspica di introdurre entro il 2030 sistemi di produzione alimentare sostenibili e implementare pratiche agricole resilienti che aumentino la produttività e la produzione, che aiutino a proteggere gli ecosistemi, che rafforzino la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, a condizioni meteorologiche estreme, siccità, inondazioni e altri disastri e che migliorino

progressivamente la qualità del suolo”.

Il cambiamento climatico costituisce una seria sfida per il settore vinicolo. Questo settore economico chiave per il nostro Paese dovrà infatti affrontare stress ambientali crescenti nei prossimi decenni. Il cambiamento climatico può influenzare fortemente lo sviluppo e la qualità della vite e dell'uva (Fraga et al., 2012). Alte temperature, combinate con alte intensità di radiazione e deficit idrico, influenzano lo stato idrico della vite, inibiscono fotosintesi e promuovono lo stress foto-ossidativo (Hossain et al., 2015; Lovisolo et al., 2016). Inoltre, conseguenze ambientali legate al cambiamento climatico accelereranno i processi di maturazione delle bacche, che, soprattutto in varietà rosse, possono dare origine a vini sbilanciati, ad alto contenuto alcolico e basso contenuto polifenolico (Mosedale et al., 2016). In questo contesto, i biostimolanti possono servire come strumento per potenziare le strategie che la vite ha a disposizione al fine di contrastare le condizioni di stress abiotico, raggiungendo un equilibrio ottimale tra resa e qualità. Sebbene siano disponibili diverse informazioni sugli effetti dei biostimolanti derivati dalle alghe sullo sviluppo e sulle funzioni di *V. vinifera* (Parađiković et al., 2019; Frioni et al., 2018; Salvi et al., 2019), nessuno studio fa riferimento agli effetti di spirulina su vite. La biomassa di spirulina è stata utilizzata per la preparazione di un estratto (Fig. 5) da utilizzare come biostimolante su vite in condizioni di stress idrico (Salvi et al., 2020).

Figura 5. Estratto a base di spirulina (Salvi et al., 2020)

Tale studio è stato svolto grazie ad una collaborazione tra il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari Ambientali e Forestali (DAGRI) dell’Università degli Studi Firenze, l’azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl, ed il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria - Centro di Ricerca per Viticoltura ed Enologia (CREA-VE) di Arezzo.

Il trattamento con spirulina ha permesso di mantenere aperti gli stomi senza

conseguenze negative sul potenziale idrico nelle viti in condizioni di stress idrico. In termini di caratteristiche degli acini, le viti trattate hanno presentato un peso degli acini maggiore rispetto alle viti non trattate in entrambi i regimi idrici, ed una migliore composizione degli acini nelle viti trattate e soggette a stress idrico. I risultati dello studio hanno dimostrato una risposta fisiologica dipendente dal trattamento con spirulina in caso di stress abiotico, che influenza in modo prominente i tratti dell'uva alla vendemmia. Per cui i biostimolanti a base di alghe, nella fattispecie spirulina, rappresentano approcci efficaci per introdurre nei sistemi di produzione alimentare strumenti sostenibili, atti ad incrementare la produttività e a migliorare la qualità, non compromettendo la biodiversità e preservando al contempo gli ecosistemi. Tali approcci, in pieno accordo al punto 2.4 degli SDG, sono inoltre in grado di rafforzare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici e a condizioni meteorologiche estreme, in particolare alla siccità.

L’obiettivo 2.1 stabilisce, entro il 2030, di “porre fine alla fame e garantire a tutte le persone, in particolare agli indigenti e alle persone più vulnerabili, tra cui neonati, un accesso sicuro a cibo nutriente”. Inoltre, l’obiettivo 2.2 si prefigge di “porre fine a tutte le forme di malnutrizione entro il 2030 e di raggiungere, entro il 2025, i traguardi concordati a livello internazionale contro l’arresto della crescita e il deperimento nei bambini sotto i 5 anni di età, oltre a soddisfare le esigenze nutrizionali di ragazze adolescenti, donne in gravidanza e allattamento e persone anziane”. I quattro prodotti sviluppati a base di spirulina: pasta (Fradinho et al., 2020), crackers (Batista et al., 2019), crostini (Niccolai et al., 2019a), ed una bevanda probiotica senza lattosio (Niccolai et al., 2020a), sono coerenti con gli obiettivi sopraelencati.

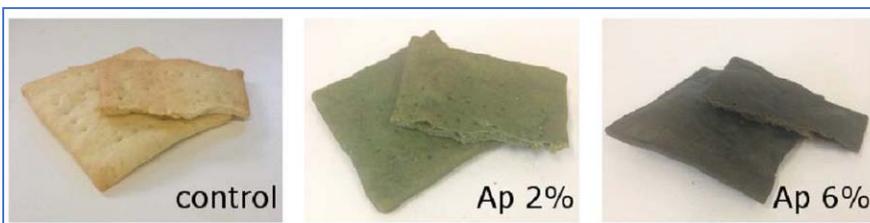
Da letteratura è noto che i cibi a base di spirulina presentano un elevato valore nutritivo, essendo tale alga ricca di proteine, vitamine, ferro, magnesio, potassio, manganese, acido γ-linolenico, polisaccaridi solfatati e ficocianina (Becker, 2007; Niccolai et al., 2019b). Le proteine contenute in spirulina sono di qualità elevata, presentano infatti alta digeribilità e contengono tutti gli aminoacidi essenziali (Becker, 2007; Niccolai et al., 2019b). La spirulina è una straordinaria fonte di antiossidanti, che possono proteggere dallo stress ossidativo. La ficocianina, considerato il composto maggiormente bioattivo di spirulina, è in grado di combattere i radicali liberi e inibire la produzione di molecole segnale infiammatorie, con significativi effetti radical scavenging (Prabakaran et al., 2020).

Gli alimenti senza glutine sono generalmente carenti dal punto di vista nutrizionale e presentato vari vincoli tecnologici. Durante il progetto sono state valutate le prestazioni tecnologiche e nutrizionali dell'aggiunta di biomassa di spirulina all’interno di pasta senza glutine (Fig. 6). La sperimentazione è stata svolta grazie ad una collaborazione tra il DAGRI dell’Università degli Studi Firenze, l’azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl, ed il Dipartimento LEAF– Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food, Istituto Superiore di Agronomia dell’Università di Lisbona. Le proprietà di consistenza della pasta senza glutine non sono state significativamente alterate dall'incorporazione di spirulina (Fradinho et al., 2020).

Figura 6. Pasta con 1, 2 e 3% di spirulina (Fradinho et al., 2020)

La biomassa di spirulina ha fornito una significativa integrazione di composti fenolici alla pasta senza glutine, che è risultata avere un'attività antiossidante significativamente maggiore rispetto alla pasta di controllo (senza spirulina). L'analisi sensoriale ha dimostrato come i consumatori non hanno rilevato particolari differenze in termini di apprezzamento globale tra la pasta di controllo e quella integrata con spirulina. Tali risultati indicano che la biomassa spirulina è un ingrediente adatto per migliorare la qualità nutrizionale della pasta senza glutine, senza alterarne le proprietà di cottura e di consistenza, con una favorevole valutazione sensoriale (Fradinho et al., 2020).

I cracker sono snack ampiamente consumati e vi è una tendenza crescente all'aggiunta di ingredienti funzionali alla loro composizione. Nell'ambito del progetto, la biomassa di spirulina è stata utilizzata come fonte di proteine, antiossidanti e altre molecole bioattive in cracker di grano artigianali (Fig. 7). Tale studio è stato svolto grazie ad una collaborazione tra il DAGRI dell'Università degli Studi Firenze, l'azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl, ed il Dipartimento LEAF–Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food, Istituto Superiore di Agronomia dell'Università di Lisbona. I cracker a base di spirulina hanno presentato un colore e una consistenza stabili per otto settimane di conservazione, erano leggermente più sottili e leggeri del controllo ma presentavano una densità simile, indicando che la ritenzione dei gas non è stata influenzata dall'aggiunta di biomassa algale (Batista et al., 2019).

Figura 7. Cracker di controllo (control) e cracker con il 2 (Ap 2%) e il 6% (Ap 6%) di biomassa di spirulina (Batista et al., 2019)

Per quanto riguarda la composizione biochimica, i cracker contenenti il 6% di spirulina presentavano un notevole quantitativo di fibre (7%) ed un contenuto proteico elevato (14%), per il quale si potrebbe sostenere il claim “fonte di proteine” secondo il Regolamento (CE) n. 1924/2006 (EU, 2006). I cracker a base di spirulina hanno mostrato elevata attività antiossidante pari a circa 0.7 $\mu g\ mg^{-1}$ VCEAC (capacità antiossidante equivalente alla vitamina C), elevata digeribilità della sostanza secca e delle proteine (> 80%) e ottenuto buoni punteggi nell’analisi sensoriale (Batista et al., 2019).

Infine, la biomassa di spirulina è stata utilizzata per essere incorporata in crostini con lievito naturale, prodotti da forno lievitati largamente consumati in Italia ed in Europa (Fig. 8) (Niccolai et al., 2019a). La sperimentazione è stata svolta grazie ad una collaborazione tra il DAGRI dell’Università degli Studi Firenze, l’azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl, lo Spin-Off Accademico dell’Università degli Studi di Firenze FoodMicroTeam Srl, ed il Dipartimento LEAF–Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food, Istituto Superiore di Agronomia dell’Università di Lisbona.

Figura 8. Crostini di controllo (senza incorporazione di spirulina) (C) e crostini arricchiti con il 2 (Ap 2), 6 (Ap 6) e 10% (Ap 10) di biomassa di spirulina (Niccolai et al., 2019a)

Nonostante un minore aumento di volume rispetto al controllo, gli impasti dei crostini includenti spirulina hanno raggiunto un volume tecnologico appropriato dopo la fermentazione. I crostini a base di spirulina hanno mostrato un contenuto proteico più elevato rispetto al controllo, fino a raggiungere il 17% per il crostino incorporato con il 10% di biomassa. Anche in questo caso, visto il Regolamento della Commissione Europea in materia di indicazioni nutrizionali, i crostini incorporati con il 6 e il 10% di biomassa possono essere considerati una “fonte di proteine”. I crostini con il 6 ed il 10% di spirulina presentavano un potenziale antiossidante ed un contenuto in fenoli totali significativamente più alto rispetto al controllo. Nel complesso, la combinazione biomassa di spirulina e lievito naturale ha portato allo sviluppo di un nuovo prodotto da forno con elevate caratteristiche nutrizionali e funzionali (Niccolai et al., 2019a).

La biomassa di spirulina è stata inoltre valutata come substrato per l’ottenimento di bevande funzionali ricche in probiotici (Fig. 9) (Niccolai et al., 2020a). Tale studio è stato svolto grazie ad una collaborazione tra il DAGRI dell’Università degli Studi Firenze, l’azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl, ed il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari, Facoltà di Biotecnologie dell’Università di Lubiana.

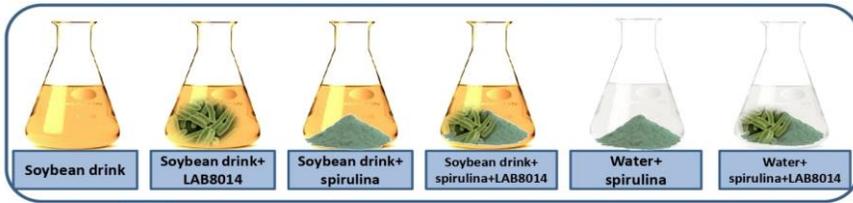
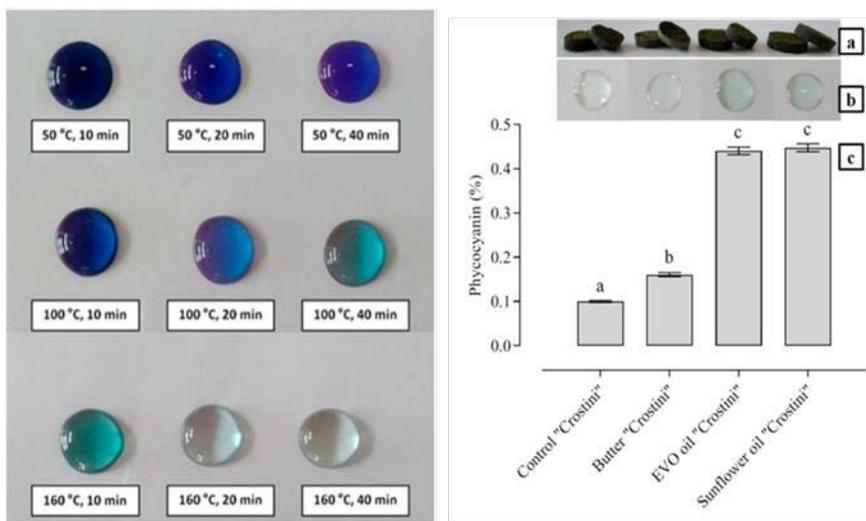
Figura 9. Piano degli esperimenti per lo sviluppo di bevande probiotiche a base di spirulina (Niccolai et al., 2020a)

Dopo 72 h di fermentazione, è stata raggiunta una concentrazione batterica di circa 10,5 log CFU (unità formanti colonia) mL^{-1} in brodi contenenti la bevanda di soia, spirulina e LAB8014 o acqua, spirulina e LAB8014. La concentrazione di acido lattico ha raggiunto valori di circa 1,7 g L^{-1} in entrambi i brodi. Lo studio ha quindi dimostrato che la biomassa di spirulina è un substrato adatto per la crescita di LAB8014. Dopo la fermentazione, entrambi i brodi contenevano un alto contenuto di proteine (> 50%). In entrambi i brodi il contenuto in fenoli totali e l'attività antiossidante *in vitro* e *in vivo* è aumentata dopo la fermentazione. La digeribilità del brodo a base di acqua, spirulina e LAB8014 è migliorata statisticamente dopo la fermentazione mentre il contenuto di ficocianina è diminuito. Questo studio evidenzia come la biomassa di spirulina sia un substrato adeguato alla produzione di nuove bevande probiotiche funzionali senza lattosio (Niccolai et al., 2020a). Lo sviluppo dei prodotti sopraesposti, che presentano elevati profili nutrizionali e componenti salubri (in particolare elevato contenuto in proteine e composti antiossidanti), sono in accordo con gli obiettivi 2.1, 2.2, 3.2 “entro il 2030, porre fine alle morti prevenibili di neonati e bambini sotto i 5 anni di età” e 3.4 “entro il 2030, ridurre di un terzo la mortalità prematura da malattie non trasmissibili attraverso la prevenzione e il trattamento e promuovere benessere e salute mentale” risultando potenzialmente adeguati alle esigenze nutrizionali di bambini, donne in gravidanza e allattamento e persone anziane. Come riporta il documento pubblicato dal Ministero della Salute italiano inerente gli obiettivi finalizzati a ridurre la mortalità infantile, dovuta principalmente a polmonite e diarrea, tra i principali fattori di rischio da contrastare vi è proprio la malnutrizione (Ministero della Salute, 2013). Di fondamentale importanza è quindi un’adeguata nutrizione, elemento decisivo per contrastare le morti premature. La ficocianina, la molecola bioattiva di maggior interesse a livello salutistico contenuta in spirulina è nota per essere estremamente sensibile al calore e a variazioni di pH (Martelli et al., 2014). Uno dei principali problemi dei prodotti da forno a base di ficocianina è la degradazione del pigmento durante la cottura, compresa la denaturazione delle proteine e la perdita delle funzioni bioattive (figura 10, sinistra).

Figura 10. Gocce di ficocianina estratta dalla biomassa di spirulina dopo trattamento termico a 50, 100 e 160 °C per 10, 20 e 40 minuti (sinistra) e crostini a base di spirulina (a), gocce di ficocianina estratte dai crostini (b) e contenuto di ficocianina (%) nei crostini arricchito con il 6% di spirulina priva di matrice lipidica (crostini di controllo) o incorporata con burro, olio extravergine di oliva o olio di girasole (c) (destra) (Niccolai et al., 2020b)

Gli attuali approcci tecnologici adottati al fine di conferire una maggiore stabilità della ficocianina riguardano l'incapsulamento della molecola in polimeri sintetici, generalmente mediante tecniche di estrusione o electrospraying (Schmatz et al., 2020). La maggior parte delle tecniche attuali utilizza quindi conservanti non appropriati per applicazioni alimentari, come silice (Li et al., 2009), acido azotidrico e ditiotreitolo (Mishra et al., 2008) o ingredienti che non sono adatti a tutti i prodotti da forno, ad esempio gli zuccheri e gli alcoli poliidrici (Petersen et al., 2004; Earthrise® Nutritional, 2019). L'identificazione di un agente protettivo contro la degradazione della ficocianina per temperature di cottura superiori a 100 °C è quindi di particolare interesse, soprattutto per i prodotti da forno. Nel nostro studio (Niccolai et al., 2020b) siamo stati in grado di dimostrare l'effetto protettivo contro la degradazione della ficocianina da parte dell'olio extra vergine di oliva e dell'olio di girasole (Fig. 10, destra). La sperimentazione è stata svolta grazie ad una collaborazione tra il DAGRI dell'Università degli Studi Firenze, l'azienda Fotosintetica & Microbiologica Srl e lo Spin-Off Accademico dell'Università degli Studi di Firenze FoodMicroTeam Srl.

Dopo la fase di cottura i crostini a base di spirulina, il cui impasto conteneva olio di oliva o di girasole presentavano fino al 90% della ficocianina inizialmente presente nella biomassa, consentendo al prodotto di mantenere le funzioni biologiche. Probabilmente il tocoferolo contenuto in certi oli, come quello di oliva e di girasole, è il principale responsabile dell'azione protettiva contro la

degradazione termica della ficocianina. Nel complesso, l'incorporazione di oli vegetali nell'impasto è uno strumento semplice ed utile per tutte quelle industrie di prodotti da forno che intendono utilizzare biomassa di spirulina e/o ficocianina come colorante alimentare naturale e componente bioattivo per produrre prodotti da forno funzionali evitando la degradazione del pigmento e delle sue funzioni biologiche (Niccolai et al., 2020b).

Nel complesso, la presenza di ficocianina ed altre molecole bioattive, l'elevato potenziale antiossidante e il contenuto in fenoli dei prodotti a base di spirulina sviluppati nell'ambito del progetto (pasta, cracker, crostini, bevande probiotiche) sono in accordo agli obiettivi 2 e 3.

Sviluppi

Il progetto avrà ricadute dirette sul territorio, in quanto, le numerose start-up che stanno nascendo in seguito agli ingenti finanziamenti europei e nazionali stanziati per favorirne la crescita, potranno sfruttare la tecnologia dei nuovi PBRs per investire nella produzione sostenibile di biomassa algale. Tale progetto contribuirà allo sviluppo di processi di qualificazione professionale di alto livello tramite modelli di produzione che garantiranno elevati standard qualitativi. Il trasferimento tecnologico sarà garantito grazie ad un'ampia disseminazione di conoscenze, competenze, tecnologie, metodi di produzione e prototipi di nuovi PBRs sviluppati da UNIFI/F&M. Gli utenti potranno sfruttare la tecnologia per creare nuovi prodotti, processi, applicazioni e materiali derivanti da biomasse algali. Sulla base dei risultati ottenuti sono state preparate proposte progettuali attualmente in fase di valutazione (PRIN2020) e attivate collaborazioni con il Dipartimento di Biotecnologie, Chimica e Farmacia dell'Università di Siena (DBCF), con l'obiettivo di valorizzare le biomasse prodotte nel campo farmaceutico.

Note bibliografiche

Abiusi et al. (2014). Growth, photosynthetic efficiency, and biochemical composition of Tetraselmis suecica F&M-M33 grown with LEDs of different colors. Biotech. Bioeng. 111, 956-964.

Batista et al. (2019). Microalgae as Functional Ingredients in Savory Food Products: Application to Wheat Crackers. Foods 8, 1-22.

Becker (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A. (ed), Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Publishing Ltd., 312-351.

Becker (2007). Micro-algae as a source of protein. Biotechnol. Adv. 25, 207-210.

Blanken et al. (2013). Cultivation of microalgae on artificial light comes at a cost. Algal Res. 2, 333-340.

Bleakley and Hayes (2017). Algal Proteins: extraction, application, and challenges concerning production. Foods 6, 33.

Chini Zittelli et al. (2013). Photobioreactors for mass production of microalgae.

Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology, 2, 225-266.
DOE U (2013) Solid-State Lighting Research and Development. Multi-Year Program Plan. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, United States Department of Energy.
Earthrise® Nutritional. (2019). Benefits of Linablue®. https://www.earthrise.com/benefits-of-linablue.
EU (2006). European Commission. Regulation (EC) N1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutritions and health claims made on foods. O. J. Eur. Union 2007, 12, 3–18.
Fradinho et al. (2020) Effect of Arthrospira platensis (spirulina) incorporation on the rheological and bioactive properties of gluten-free fresh pasta. Algal Res. 45, 1-22.
Fraga et al. (2012). An overview of climate change impacts on European viticulture. Food En. Sec. 1, 94-110.
Frioni et al. (2018). Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed Ascophyllum nodosum on ripening dynamics and fruit quality of grapevines. Sci. Hortic. 232, 97–106.
García et al. (2017). Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. Microb. Biotech. 10, 1017-1024.
Gianesini (2010). Illuminazione privata: analisi di componenti di impianti per illuminotecnica. Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica.
Hossain et al. (2015). Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. Front. Plant Sci. 6, 420.
Hu (2019). Current status, emerging technologies, and future perspectives of the world microalgal industry. 6th EABA and EC Contractors' Conference and the 13rd International Algae Congress. Paris, France, 03-05 Dec 2019, 139.
Li et al. (2009). Effect of ultraviolet irradiation on photostability of C-phycocyanin in a silica matrix. Res. Chem. Interm. 35, 607-613.
Lovisolo et al. (2016). Grapevine adaptations to water stress: new perspectives about soil/plant interactions. Theor. Exp. Plant Physiol. 28, 53-66.
Lu and Xu (2015). Phytohormones in microalgae: a new opportunity for microalgal biotechnology? Trends Plant Sci 20, 273-282.
Martelli et al. (2014). Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from Spirulina platensis for food industry applications. Process Biochem. 49, 154-159.
Ministero della Salute (2013). Ridurre la mortalità infantile per il raggiungimento dell’Obiettivo di Sviluppo del Millennio n. 4*. Dipartimento della Sanità Pubblica e dell’Innovazione. Direzione Generale dei Rapporti Europei e Internazionali, Ufficio III – ex DG RUERI.
Mishra et al. (2008). Effect of preservatives for food grade C-PC from Spirulina platensis. Process Biochem. 43, 339-345.
Mosedale et al. (2016). Climate change impacts and adaptive strategies: lessons from the grapevine. Glob. Chang. Biol. 22, 3814–3828.
Niccolai et al. (2019a). Development of new microalgae-based sourdough “crostini”: functional effects of Arthrospira platensis (spirulina) addition. Sci.

Rep. 9, 1-12.
Niccolai et al. (2019b). Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. Algal Res. 42, 1-9.
Niccolai et al. (2020a). Lactic Acid Fermentation of Arthrospira platensis (Spirulina) in a Vegetal Soybean Drink for Developing New Functional Lactose-Free Beverages. Front. Microbiol. 11, 1-18.
Niccolai et al. (2020b). Vegetable oils protect phycocyanin from thermal degradation during cooking of spirulina-based “crostini”. LWT, 110776.
Parađiković et al. (2019). Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. Food En. Sec. 8, e00162.
Petersen et al. (2004). Sorbitol prevents the self-aggregation of unfolded lysozyme leading to an up to 13 C stabilisation of the folded form. J. Biotech. 114, 269-278.
Prabakaran et al. (2020). Extraction and characterization of phycocyanin from Spirulina platensis and evaluation of its anticancer, antidiabetic and antiinflammatory effect. Int. J. Biol. Macromol. 153, 256-263.
Sabzalian et al. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. Agron. Sustain. Dev. 34, 879-886.
Salvi et al. (2019). Effects of Ascophyllum nodosum extract on Vitis vinifera: Consequences on plant physiology, grape quality and secondary metabolism. Plant Physiol. Biochem. 139, 21–32.
Salvi et al. (2020). Effects of Arthrospira platensis Extract on Physiology and Berry Traits in Vitis vinifera. Plants 9, 1805.
Schmatz et al. (2020). Encapsulation of phycocyanin by electrospraying: A promising approach for the protection of sensitive compounds. Food Bioprod. Process. 119, 206-215.
Tredici (2004). Mass production of microalgae: photobioreactors. Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, 1, 178-214.
Tredici et al. (2016). Techno-economic analysis of microalgal biomass production in a 1-ha Green Wall Panel (GWP®) plant. Algal Res. 19, 253-263.
Tredici (2018). Food from microalgae: Challenges and Opportunities - IBIC 2018, Venice (Italy).
Wu et al. (2016). The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: an overview. Arch. Toxicol. 90, 1817-1840.

Caso di studio EURECA

Federico Fagioli, Maurizio De Lucia

Abstract: Il caso di studio EURECA descrive il processo di innovazione di un prodotto per conservazione di materiale biologico a basse temperature, ad alta intensità tecnologica, per utilizzi in ambito medico-farmaceutico. L'obiettivo è di migliorare le performances del dispositivo dotandolo di caratteristiche di risparmio energetico e rispetto ambientale in linea con i protocolli di Montreal e Kyoto, nel rispetto del regolamento EU 517/2014 F-gas e nell'ottica di riduzione dei consumi finali di energia. Le strategie utilizzate si basano sull'efficientamento energetico dei cicli termodinamici, sull'utilizzo di fluidi refrigeranti naturali e sull'impiego della tecnologia "Auto Cascade Refrigeration". Di fondamentale importanza, è la valutazione e lo sviluppo di tecnologie per l'impiego di fluidi a basso impatto ambientale, l'attenzione alle normative di settore che richiedono standard produttivi, di sicurezza e limitazioni di impiego di particolari categorie di fluidi di lavoro sempre più stringenti per garantire un minor rischio di inquinamento ambientale.

Keywords: ULT Freezer, Auto-Cascade Refrigeration, Kleemenco cycle, Vaccine refrigerator, -80° C, Variable speed, Global Warming Potential, energy efficiency

Problematica

La produzione di energia frigorifera per sistemi di conservazione in ambito medico e farmaceutico si basa sui cicli termodinamici a compressione di vapore e sull'impiego di azoto liquido. Nella categoria di temperatura "Ultra Low Temperature" esistono diversi sistemi in commercio prodotti sia da piccole aziende a livello semi-artigianale, sia da grandi multinazionali. I principali sistemi reperibili in commercio si differenziano principalmente in tre distinte categorie come anche riportato in "ASHRAE Handbook of Refrigeration":

- Sistemi "Auto Cascade Refrigeration" (ACR), a singolo ciclo termodinamico
- Sistemi a doppio ciclo termodinamico in cascata
- Sistemi che utilizzano Azoto liquido

I sistemi ARC rappresentano il livello di ingresso alla categoria degli ultra-low temperature freezers, sono i più economici e di piccole dimensioni. Questi presentano limiti di impiego per quanto riguarda il volume refrigerato e richiedono una particolare attenzione per la scelta dei fluidi e per un componente chiave che funge da distillatore. Allo stesso tempo, permettono di limitare la componentistica

Chiara Bartalucci, University of Florence, Italy, chiara.bartalucci@unifi.it
Federico Fagioli, University of Florence, Italy, federico.fagioli@unifi.it, 0000-0002-3283-403X
Andrea Giachetti, University of Florence, Italy, andrea.giachetti@unifi.it, 0000-0001-5984-7124
Alberto Niccolai, University of Florence, Italy, alberto.niccolai@unifi.it, 0000-0002-3493-7219
Leonardo Verdi, University of Florence, Italy, leonardo.verdi@unifi.it, 0000-0001-7030-0496

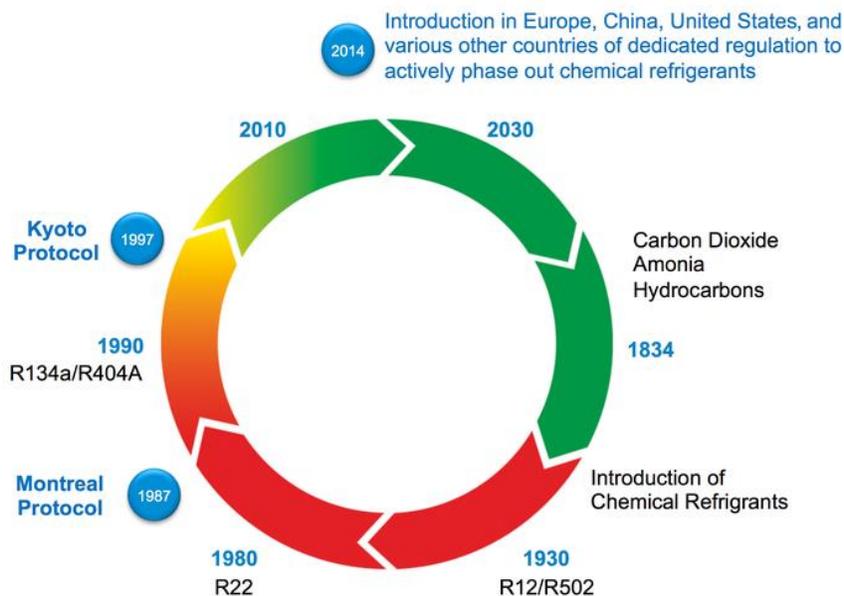
Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*, © 2022 Author(s), CC BY 4.0, published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

necessaria per la realizzazione e garantiscono un consumo di energia inferiore per il loro esercizio. I sistemi a doppio ciclo termodinamico in cascata rappresentano la categoria più numerosa e sono realizzati per soddisfare esigenze di diverse volumetrie interne di conservazione. Questi sono i sistemi più versatili e affidabili e permettono utilizzi in diversi ambiti grazie anche alla possibilità di regolazione a diverse temperature di funzionamento. I sistemi che utilizzano azoto liquido hanno le prestazioni più elevate, ma a causa dei costi di gestione e delle complicazioni di sicurezza, vengono utilizzati soltanto in specifiche applicazioni che richiedono temperature di congelamento inferiori ai -150°C.

Le applicazioni di refrigerazione basate sulla teoria del ciclo inverso di Carnot si sono sviluppate a partire dalla prima metà del 1800 utilizzando fluidi di lavoro naturali di facile reperimento. Lo sviluppo tecnologico in questo settore ha portato ad utilizzare fluidi di lavoro sintetici ad elevato impatto ambientale. A partire dal 1989, anno di entrata in vigore del protocollo di Montreal relativo a sostanze che riducono lo strato di ozono in atmosfera, il mondo della refrigerazione sta vivendo una fase di cambiamento continuo, confermato dai protocolli di Kyoto nel 1997 e dall'entrata in vigore della nuova normativa F-gas nel 2014 e successivi aggiornamenti, che regola la commercializzazione, l'impiego di gas ad effetto climalterante e limita i quantitativi disponibili all'interno del mercato Europeo. L'obiettivo è di spingere verso un impiego più consapevole dei fluidi refrigeranti e stimolare la ricerca e sviluppo di nuovi ritrovati tecnologici che permettano di sfruttare in sicurezza principalmente refrigeranti naturali a basso impatto ambientale, in un certo senso ritornare alle origini della tecnologia frigorifera come è possibile dedurre dal grafico (Fig. 1).

Dall'analisi della letteratura scientifica è emerso che il settore del freddo sta impiegando sforzi crescenti per contenere l'impatto ambientale dovuto ai consumi di energia e all'utilizzo di fluidi refrigeranti ad elevato effetto serra. La normativa di riferimento è in continuo e crescente aggiornamento, la EN378 regolamenta l'utilizzo di refrigeranti a basso impatto ambientale già disponibili in commercio e distingue diverse categorie di refrigeranti naturali, tossici, infiammabili (contenenti idrocarburi) e a limitata infiammabilità con i relativi limiti di impiego.

Figura 1. Evoluzione e prospettive dell'impiego di fluidi frigoriferi

Nei fluidi frigoriferi l'impatto ambientale è indicato dal valore di "Global Warming Potential" (GWP) espresso in tonnellate di CO2 equivalente per ogni tonnellata di composto chimico. Ad esempio, per il gas r508b si registra un valore di GWP di 13396, vale a dire che un kilogrammo di questo gas emesso in atmosfera ha un impatto equivalente a 13396 kg di CO2. Un altro parametro per misurare l'impatto ambientale dei dispositivi utilizzati per la produzione di energia frigorifera è il "Total Equivalent Warming Impact" (TEWI), ovvero la somma tra GWP dei fluidi refrigeranti utilizzati e le emissioni di CO2 dovute al consumo di energia elettrica durante la vita utile. Questa seconda componente è di solito molto più consistente nel bilancio totale delle emissioni di CO2 e per questo, oltre che l'utilizzo di fluidi di lavoro di nuova generazione a ridotto GWP, per la limitazione dell'impatto climalterante risulta di particolare efficacia anche ottimizzare le prestazioni degli impianti tradizionali.

Facendo riferimento all'agenda 2030 delle Nazioni Unite, si possono individuare diversi aspetti del progetto svolto inerenti a obiettivi per lo sviluppo sostenibile. Questi, verranno descritti contestualmente alla presentazione dei risultati.

Strategia

Il progetto di ricerca si è svolto in fasi distinte utilizzando diversi approcci.

Inizialmente, è stata necessaria un'indagine bibliografica per definire le problematiche e identificare le tecnologie e i rischi connessi al campo di studio. In

questa fase, oltre alla consultazione della letteratura scientifica e la normativa di riferimento, è stato approfondito lo studio numerico dei prodotti del partner aziendale “KW Apparecchi Scientifici” per analizzarne le caratteristiche e le prestazioni. Il risultato di questa fase è un modello numerico descrittivo del ciclo termodinamico utilizzato e uno strumento numerico innovativo in grado di accelerare il processo di progettazione dei nuovi dispositivi. Gli strumenti utilizzati in questa fase sono stati principalmente di tipo software, dai generici Excel e Visual Basic a software specifici come Nist Refprop per il calcolo delle proprietà termodinamiche dei fluidi e routine di calcolo appositamente sviluppate per lo studio degli oggetti della ricerca.

È seguita una fase sperimentale necessaria alla validazione del modello numerico e al rilievo delle prestazioni degli apparecchi. Gli strumenti utilizzati sono stati sia di tipo software sia di tipo hardware: programmi specifici per l’acquisizione dati real time come LabView, software di elaborazione dati appositamente sviluppato, sensori di temperatura, pressione, portata e potenza elettrica installati a bordo dei macchinari. Questa attività ha avuto lo scopo di diagnosticare le prestazioni dei dispositivi e di porre le basi per effettuare uno studio comparativo con i prototipi di dispositivi innovativi che sono stati realizzati durante le varie attività previste dal programma di ricerca.

In particolare, durante la fase di realizzazione prototipale di dispositivi innovativi, sono stati individuati diversi ambiti di indagine scientifica: come primo approccio è stata realizzata un’ottimizzazione termodinamica e costruttiva degli impianti utilizzati per utilizzare un minor quantitativo di fluido di lavoro e ridurre i consumi energetici, valutando anche l’influenza della coibentazione dei volumi refrigerati e l’utilizzo di compressori innovativi più performanti e dotati di inverter.

Inoltre, è stato possibile riprogettare interamente i sistemi per adeguarli al funzionamento con fluidi di lavoro naturali infiammabili/sintetici lievemente infiammabili (a seconda dell’utilizzo finale del dispositivo) che garantiscono migliori prestazioni non solo dal punto di vista energetico ed ambientale, ma anche semplificazione e riduzione delle lavorazioni necessarie in fase di realizzazione.

Infine, è stato ipotizzato di ricorrere alle competenze acquisite per riuscire a progettare ex-novo un ciclo termodinamico innovativo basato sulla tecnologia ACR utilizzando diverse miscele di fluidi refrigeranti (tra cui alcune inedite e in fase di valutazione per un eventuale brevetto) appositamente studiate e messe a punto sperimentalmente.

Impatti

Il lavoro svolto durante il progetto di ricerca è stato mirato per raggiungere due obiettivi principali:

- Riduzione della pressione ambientale: riduzione GWP e TEWI
- Innovazione tecnologica: semplificazione delle lavorazioni, riduzione del tempo di produzione e incremento delle prestazioni dei dispositivi

Nei vari prototipi realizzati durante le attività di ricerca, i principali risultati raggiunti dal punto di vista ambientale riguardano sia il “GWP”, l’impatto dovuto

all'impiego dei fluidi refrigeranti, sia la diminuzione dell'energia necessaria all'azionamento elettrico. Per quanto riguarda il primo contributo, l'impatto ambientale è stato praticamente azzerato passando all'utilizzo di fluidi naturali idrocarburi: da un valore di circa tonnellate di CO_2 equivalente per ogni dispositivo di 10 a un valore di meno 0,001.

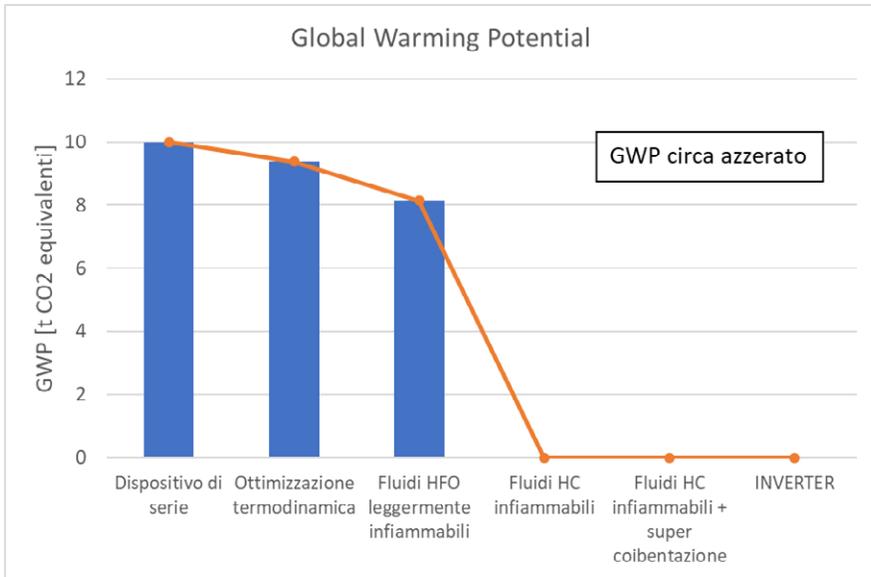
Figura 2. GWP delle soluzioni investigate

Il miglioramento termodinamico ha ottimizzato le prestazioni degli impianti che inizialmente registravano un consumo di energia elettrica su base giornaliera di circa 24 kWh, mentre nella nuova configurazione più performante si è ridotto a circa 8 kWh, il 66% in meno. L'impiego di fluidi di lavoro scarsamente infiammabili non ha variato sensibilmente la situazione, l'utilizzo di refrigeranti naturali invece ha fatto registrare uno step considerevole, dovuto principalmente all'incremento di rendimento di ciclo caratteristico proprio di questa categoria di fluidi. Ma il vero incremento di prestazione è stato indiscutibilmente l'applicazione di un sistema di coibentazione ad altissima tecnologia, realizzato grazie all'impiego di pannelli isolanti sottovuoto. La riduzione finale dovuta all'utilizzo di energia elettrica per l'azionamento dei dispositivi è stata superiore al 66% rispetto alla situazione di partenza. La configurazione con compressori dotati di INVERTER non è molto vantaggiosa dal punto di vista energetico in quanto presenta un incremento dei consumi rispetto alla configurazione "super-coibentata", ma, come vedremo, riesce ad ottenere prestazioni di servizio nettamente superiori.

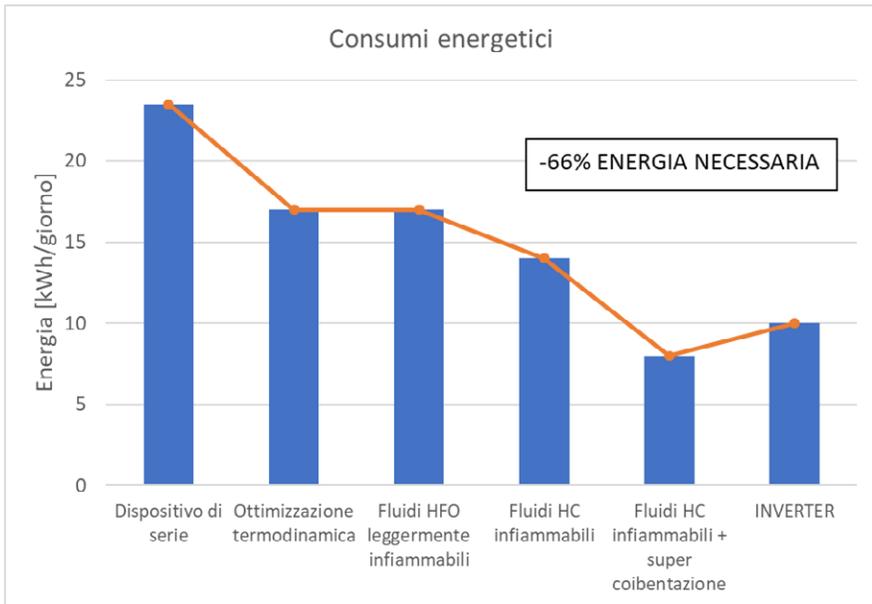
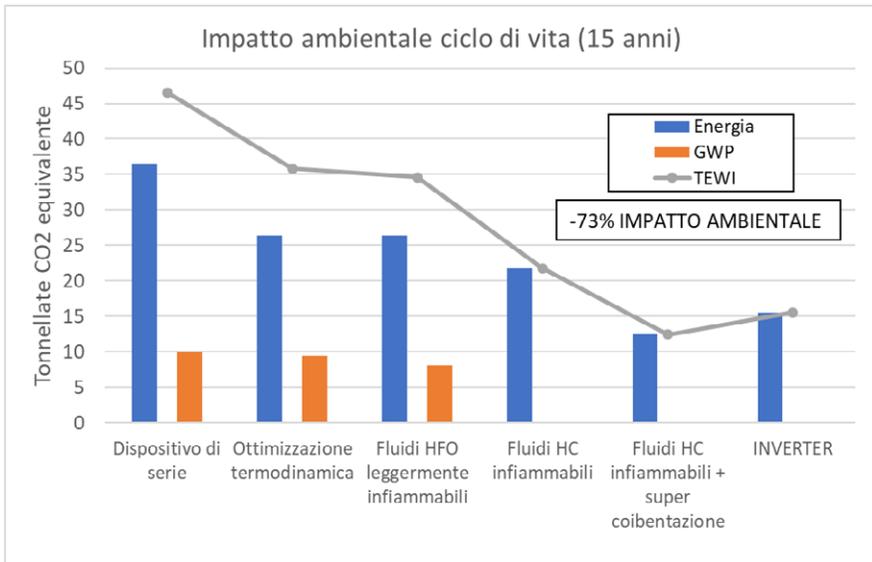
Figura 3. Consumi energetici delle soluzioni investigate

Considerando la somma dei due contributi la diminuzione della pressione ambientale è superiore al 70%.

Figura 4. TEWI delle soluzioni investigate

Questo aspetto del progetto di ricerca EURECA - STREAMING può essere riconducibile ad almeno due degli obiettivi di sostenibilità descritti nell'agenda 2030 delle Nazioni Unite:

- n. 12. "Consumo e produzione sostenibili": riduzione dell'impiego di risorse, del degrado e dell'inquinamento nell'intero ciclo produttivo, utilizzo efficiente delle risorse naturali per limitare l'inquinamento, gestione eco compatibile di sostanze chimiche e di tutti i rifiuti durante tutto il ciclo di vita
- n. 13. "Lotta contro il cambiamento climatico": misure tecnologiche per ridurre le emissioni di gas ad effetto climalterante in atmosfera con l'obiettivo di limitare l'aumento della temperatura media globale a 2°C

Il lavoro svolto durante il progetto ha, inoltre, permesso di mettere a punto un modello fisico matematico applicabile ad ogni configurazione di impianto che permette di prevedere con elevata accuratezza le condizioni di lavoro del sistema e rappresenta uno strumento di progettazione indispensabile per la scelta della componentistica di impianto. Grazie a questo strumento è stata approfondita la conoscenza dei problemi progettuali specifici delle applicazioni "Ultra Low Temperature Freezers" ed ampliata la potenzialità di progettazione di nuove configurazioni di impianto e miscele di fluidi refrigeranti.

In ragione di questo, sono stati approntati prototipi di dispositivi funzionanti con configurazione di impianto "ACR", sistemi usualmente impiegati in grandi impianti utilizzati nell'industria chimica e petrolifera, e speciali miscele di fluidi refrigeranti commerciali che permettono agevolmente di raggiungere la temperatura del volume refrigerato di -70°C e -75°C impiegando un unico compressore e un unico circuito termodinamico, risparmiando circa il 30% su tempi di realizzazione e costi dei materiali ed il 50% dell'ingombro della componentistica. La realizzazione di questo tipo di impianto semplifica l'esecuzione di sistemi di conservazione complessi come le bio-banche che presentano la fondamentale caratteristica della ridondanza degli impianti, necessaria a garantire l'affidabilità e la sicurezza di conservazione.

Figura 5. Lay-out prototipo impianto monostadio

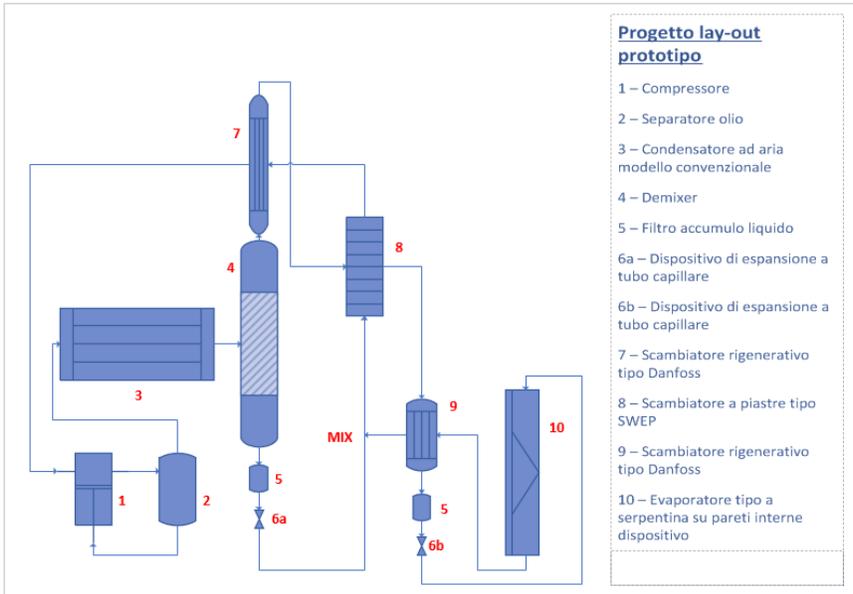



Figura 6. Analisi termodinamica del ciclo di riferimento del prototipo impianto monostadio

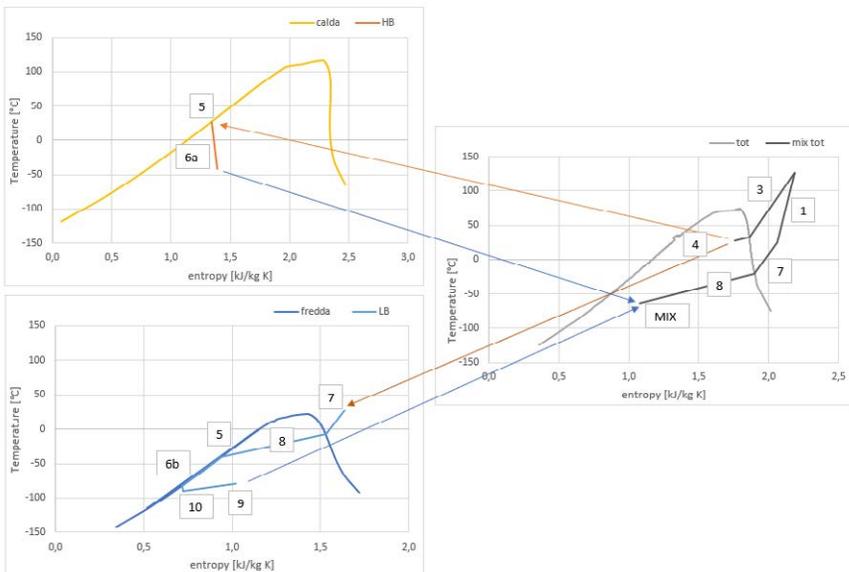



Figura 7. Dettaglio del prototipo monostadio strumentato durante il funzionamento

Dal punto di vista delle emissioni questa soluzione non presenta particolari vantaggi, ma anzi richiede l'utilizzo di miscele di fluidi tradizionali ad elevato impatto ambientale ed un consumo di energia elettrica superiore di circa il 30% rispetto alla migliore configurazione di impianto testata. È però da sottolineare lo step tecnologico che questa soluzione rappresenta, specialmente per alcune esecuzioni speciali e diversi vantaggi:

- riduzione dei tempi di lavoro per la realizzazione degli impianti
- riduzione dei componenti necessari per la realizzazione del circuito termodinamico
- semplificazione del sistema di controllo
- accessibilità economica della soluzione, di sicuro interesse per mercati di paesi in via di sviluppo
- nessuna limitazione all'utilizzo di fluidi ad elevato GWP per impianti che raggiungono, in un singolo circuito, una temperatura inferiore a -50°C.

Dal punto di vista ambientale, la soluzione implementata con super-coibentazione grazie a pannelli "Vacuum Insulated Panel" (VIP) è quella che ha ridotto di più le pressioni fino a raggiungere -73% delle emissioni di CO_2 durante la vita utile del sistema. Altro risultato interessante è quello ottenuto aggiungendo a questa configurazione, dei compressori a giri variabili, implementando una logica di controllo non più basata sulla termostatazione ON/OFF. I consumi di energia sono leggermente aumentati, ma sono nettamente migliorati alcuni dei parametri fondamentali per la qualifica delle performance di questi dispositivi, ovvero:

- la stabilità di temperatura interna, che in questa configurazione si sposta al

massimo di 0,1°C intorno al valore di set-point (confronto tra Fig. 8 e Fig. 9)

- la distribuzione di temperatura interna, che rientra in un intervallo di +/- 4,5°C invece di +/- 7,5°C (confronto tra Fig. 10 e Fig. 11)

Figura 8. Rilevamento della temperatura interna al dispositivo ON/OFF con sistema doppia sonda

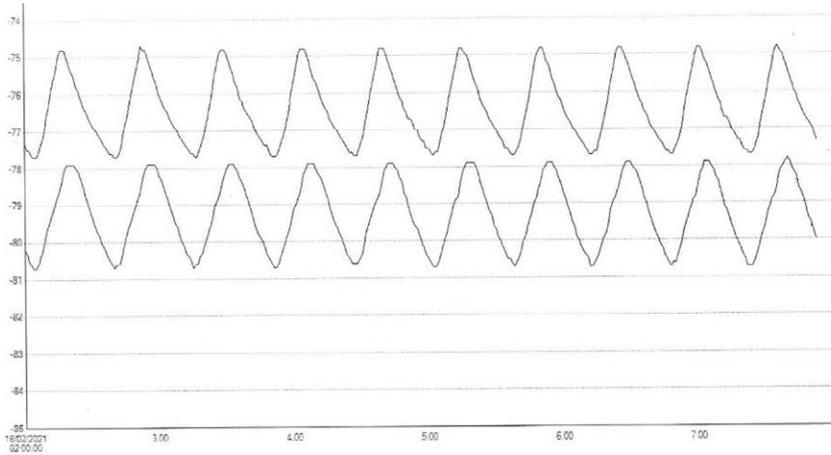



Figura 9. Rilevamento della temperatura interna al dispositivo INVERTER con sistema doppia sonda

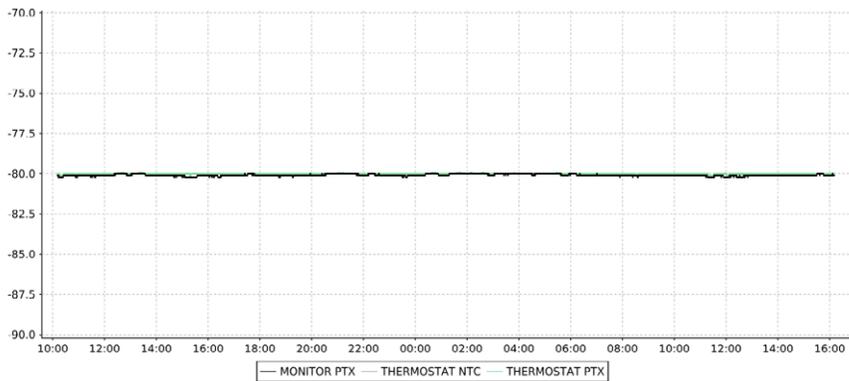



Figura 10. Distribuzione di temperatura interna al volume refrigerato del dispositivo ON/OFF con sistema a 12 sonde

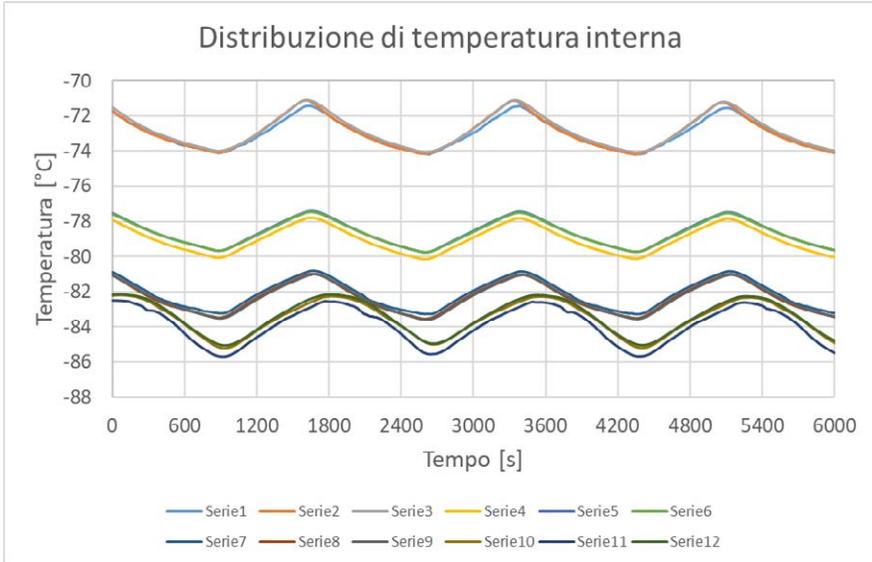
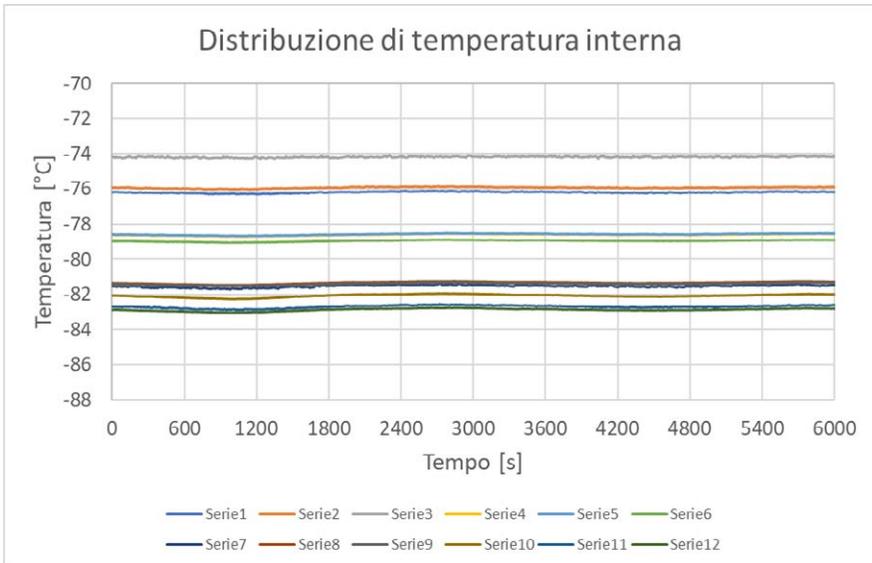



Figura 11. Distribuzione di temperatura interna al volume refrigerato del dispositivo INVERTER con sistema a 12 sonde

Ulteriori parametri di performance migliorati sono ad esempio la capacità di

recuperare la temperatura di set-point dopo un'apertura della porta, la riduzione dei tempi di pull-down e l'incremento del tempo di risalita di temperatura interna in caso di guasto elettrico.

Questo aspetto del progetto di ricerca EURECA - STREAMING può essere riconducibile ad almeno due degli obiettivi di sostenibilità descritti nell'agenda 2030 delle Nazioni Unite:

- n 8. "Lavoro dignitoso e crescita economica": Raggiungere standard più alti di produttività economica attraverso la diversificazione, il progresso tecnologico e l'innovazione.
- n 9. "Industria, innovazione e infrastrutture": Aumentare la ricerca scientifica, migliorare le capacità tecnologiche del settore industriale, aumentare l'efficienza nell'utilizzo delle risorse, supportare lo sviluppo tecnologico, la ricerca e l'innovazione.

L'impatto ambientale legato all'utilizzo di fluidi sintetici, il GWP, pesa per circa il 30% nelle emissioni totali di CO_2 di un impianto "Ultralow-Temperature Freezer" tradizionale nel ciclo di vita di funzionamento. Per questo è assolutamente da favorire e promuovere in tutto il mondo la strategia di phase-out intrapresa con il regolamento Europeo F-gas che va a limitare la disponibilità commerciale di determinate categorie di fluidi.

Inoltre, è auspicabile la promozione di strategie di innovazione e trasferimento tecnologico mirate all'ottimizzazione termodinamica degli impianti e all'utilizzo di fluidi refrigeranti naturali che in generale presentano rendimenti superiori, pur prevedendo adeguati criteri di prevenzione e sicurezza. Questo processo deve essere favorito dagli enti normatori adottando, ad esempio, le delibere internazionali per l'innalzamento dei quantitativi massimi di carica di refrigeranti infiammabili all'interno di un singolo circuito, attualmente a 150 grammi e individuata in 500 grammi dallo standard internazionale IEC 60335-2-89:2019.

Discorso a parte merita il tema della coibentazione, sia con materiali di tipo tradizionale, sia con soluzioni tecnologiche innovative come l'utilizzo di Aerogel o pannelli VIP che presentano prestazioni di un ordine di grandezza superiore rispetto alla convenzionale schiuma poliuretanica. L'incremento della coibentazione comporta una riduzione lineare e proporzionale dei consumi elettrici e, nei prototipi messi a punto, ha comportato riduzioni fino al 40% dell'impatto ambientale anche in sistemi non ottimizzati dal punto di vista termodinamico. Questa soluzione risulta anche economicamente vantaggiosa in quanto, nonostante un incremento del costo iniziale della realizzazione dei dispositivi, si può stimare un pay-back time inferiore a 5 anni grazie alla riduzione dei consumi di energia elettrica.

È auspicabile la diffusione della consapevolezza degli utilizzatori sul tema della coibentazione e dei suoi vantaggi e favorire strategie di innovazione tecnologica che permettano la produzione di questi materiali innovativi, Aerogel e VIP, abbattendo i costi e la facilità di produzione, aspetti che attualmente rappresentano uno scoglio alla fornitura sia dal punto di vista economico, sia nella reperibilità.

Sviluppi

EURECA oltre ad incrementare il know-how sulle tradizionali configurazioni di impianto a cicli a compressione di vapore in cascata, ha permesso di approfondire la conoscenza dei sistemi "ACR" aprendo un filone di indagine scientifica di nicchia di primario interesse nel mondo asiatico. Là sono presenti gruppi di ricerca che pubblicano numerosi articoli scientifici sull'argomento e grandi aziende che propongono sul mercato dispositivi tecnologicamente avanzati che funzionano basandosi sulla tecnologia "ACR", molto richiesta nei mercati dei paesi in via di sviluppo. La ricerca di fluidi di lavoro idonei per far lavorare il sistema a diverse temperature ha permesso di mettere a punto diverse miscele inedite, tra cui alcune in fase di valutazione per la registrazione di brevetto.

Immediata ricaduta industriale del progetto può essere l'impiego del dispositivo "ACR" per la conservazione del vaccino anti Covid-19 prodotto da Pfizer, che richiede la temperatura di conservazione di -70°C.

L'azienda partner "KW Apparecchi Scientifici", una piccola impresa del territorio senese, ha tratto vantaggio dalla partecipazione al progetto di ricerca incrementando il livello tecnologico dei propri prodotti. Questo ha avuto un impatto sensibile sull'ampliamento del suo mercato che le ha permesso di incrementare il personale impiegato di circa il 15% e il fatturato, fino alla soglia di media impresa, con ulteriori future prospettive di incremento.

In futuro sarà possibile sfruttare i sistemi messi a punto e le conoscenze acquisite come punto di partenza per sviluppare impianti più complessi per raggiungere la produzione di energia frigorifera a temperature criogeniche con dispositivi meccanici di piccola taglia (1,5 kW di potenza).

Note bibliografiche

Ashrae Refrigeration Handbook - "Chapter 39: Ultralow-Temperature Refrigeration", 2002

S. Rui, H. Zhang,B. Zhang, D. Wen - "Experimental investigation of the performance of a single-stage auto-cascade refrigerator" - Heat and Mass Transfer, 52 (1). Pp. 11-20. ISSN 0947-7411.

K. Du, S. Zhang, W. Xu, X. Niu - "A study on the cycle characteristics of an auto-cascade refrigeration system" - Experimental Thermal and Fluid Science 33 (2009) 240–245

N. Hugh, M. Mathison, A. Bowman - "Modeling and Testing of an R-23/R-134a Mixed Refrigerant System for Low Temperature Refrigeration" – Proceedings of the 2013 ASHRAE Annual Conference

M.Q. Gong, E.C. Luo, J.T. Liang, Y. Zhou, and J.F. Wu - "Thermodynamic Analysis of a Mixed-Refrigerant Auto-Cascade J-T Cryocooler with Distributed Heat Loads" - Cryocoolers 11, edited by R.G. Ross, Jr.

Protocollo di Montreal, 1987

Protocollo di Kyoto, 1997

Normativa UNI EN 378-1-2-3-4

Regolamento UE 517/2014 F-gas

International Standard IEC 60335-2-89:2019
G. Venkatarathnam - “Cryogenic Mixed Refrigerant Processes” - The International Cryogenics Monograph Series, Springer.
F. G. Kerry - “Industrial Gas Handbook - Gas Separation and Purification” - CRC Press, Taylor and Francis Group.

Caso di studio CALMA

Chiara Bartalucci, Monica Carfagni

Abstract: È stato ormai largamente dimostrato che l'inquinamento acustico ha effetti negativi sui comportamenti socialmente rilevanti e sul benessere dei cittadini, nonché sull'apprendimento da parte dei più giovani. Il sotto-progetto CALMA si è occupato dell'impatto acustico in ambiente urbano dovuto a sorgenti stazionarie con emissione in bassa frequenza, riconosciute come particolarmente disturbanti. All'interno di CALMA è stata sviluppata una strategia basata sull'ANC (Active Noise Control) che è stata successivamente applicata ai reattori elettrici per la correzione del fattore di potenza nelle sottostazioni elettriche. Il modello ottenuto è in grado di testare molte configurazioni diverse per numero di sorgenti e microfoni di controllo e loro posizioni relative ed ha dimostrato di poter raggiungere un'elevata efficacia in particolari direzioni di propagazione.

Keywords: Rumore, inquinamento acustico, annoyance, controllo attivo, algoritmi

Problematica

Il recente rapporto dell'Agenzia europea per l'ambiente – EEA conferma che l'esposizione al rumore ha un impatto importante sul benessere fisico e mentale delle persone. Il rumore, in effetti, è l'unico fattore ambientale su cui si registra dagli anni '90 un aumento della sensazione di fastidio (annoyance), segnalata attraverso i reclami della popolazione.

In Europa circa 113 milioni di persone sono esposte a rumore da traffico stradale a lungo termine diurno e notturno, per livelli pari ad almeno 55 decibel (dB) o superiori. A questi vanno aggiunti 22 milioni di persone esposte ad alti livelli di rumore derivante dal traffico ferroviario, 4 milioni sono quelli esposti al rumore da traffico aereo mentre risultano inferiori a 1 milione i soggetti esposti ad alti livelli di rumore generato da insediamenti industriali.

Complessivamente il numero delle persone esposte alle fonti di rumore sembra rimanere stabile dal 2012, tuttavia è previsto che l'inquinamento acustico aumenterà per il crescere della popolazione nei centri urbani ed al conseguente aumento della richiesta di mobilità.

La Direttiva 2002/49/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 giugno 2002, inerente la determinazione e la gestione del rumore ambientale, mira a

Chiara Bartalucci, University of Florence, Italy, chiara.bartalucci@unifi.it
Federico Fagioli, University of Florence, Italy, federico.fagioli@unifi.it, 0000-0002-3283-403X
Andrea Giachetti, University of Florence, Italy, andrea.giachetti@unifi.it, 0000-0001-5984-7124
Alberto Niccolai, University of Florence, Italy, alberto.niccolai@unifi.it, 0000-0002-3493-7219
Leonardo Verdi, University of Florence, Italy, leonardo.verdi@unifi.it, 0000-0001-7030-0496

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*, © 2022 Author(s), CC BY 4.0, published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

definire un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre, secondo le rispettive priorità, gli effetti nocivi, compreso il fastidio, dovuti all'esposizione al rumore ambientale. La Direttiva è altresì destinata a fornire una base per l'elaborazione di misure comunitarie di contenimento del rumore generato dalle principali sorgenti, in particolare veicoli stradali e su rotaia e relative infrastrutture, aeromobili, attrezzature utilizzate all'aperto e attrezzature industriali.

In Italia la disciplina dell'inquinamento acustico ambientale fa capo alla Legge 26 ottobre 1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" ed ai relativi regolamenti attuativi. Tale legge definisce le competenze statali, regionali e degli Enti Locali. Successivamente, con il D.lgs. 19 agosto 2005, n. 194 sono state definite a livello nazionale le competenze e le procedure per adempiere alle disposizioni della Direttiva 2002/49/CE.

La Regione Toscana ha introdotto Il Piano Regionale di Tutela Ambientale 2002-2003 prima e successivamente il Piano Regionale di Azione Ambientale (PRAA) 2004-2006, approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 29 del 2 marzo 2004. Tali Piani hanno precisato gli obiettivi e le azioni necessari per l'attuazione di una efficace politica di tutela della popolazione dall'inquinamento acustico in applicazione della legge regionale e per la sua integrazione con le altre politiche di settore: tutela della qualità dell'aria, energia, sviluppo sostenibile, trasporti, infrastrutture.

Negli ultimi decenni, la città di Firenze ha posto particolare attenzione e si è concentrata sui problemi di riduzione del rumore; è stato uno dei primi Comuni in Italia a sviluppare il Piano d'azione sul rumore secondo la direttiva europea 2002/49/CE e il Piano di Contenimento del rumore secondo la legge italiana D.M. 29/11/2000, credendo fermamente che il rumore sia uno degli inquinanti più pericolosi per la salute ed il benessere dei cittadini. Negli ultimi anni sono state eseguite diverse azioni, come introduzione di noise Low Emission Zones, sostegno alla mobilità sostenibile attraverso l'introduzione di linee tranviarie, realizzazione di barriere acustiche. Inoltre, grandi sforzi sono stati fatti per l'introduzione di politiche volte all'uso di veicoli elettrici. La Direzione Ambiente porta avanti la gestione di tale problematica anche attraverso la partecipazione, spesso con il ruolo di capofila, a numerosi progetti europei sui temi dell'inquinamento e del controllo del rumore: LIFE HUSH 2010-2013, LIFE QUADMAP 2011-2014, LIFE E-VIA 2019-2022, H2020-MG-2018-2019-2020 NEMO. Ulteriori progetti, quali ELECTRA 2012-2015 e CLEAN 2012-2013, hanno riguardato la mobilità sostenibile.

Tra i vari interventi attuabili per la riduzione del rumore si annoverano:

- interventi alla sorgente quali misure di riduzione che agiscono direttamente sul meccanismo di generazione del rumore (ad esempio, per il rumore da traffico stradale, la posa di asfalti a bassa emissione al posto delle pavimentazioni tradizionali è un esempio di intervento alla sorgente, la strada, che riduce il rumore provocato all'interazione ruota-asfalto).

- interventi sulla via di propagazione del rumore sono quelli finora più utilizzati. Le barriere acustiche, ti tipologia diversa per struttura e tipologia in modo da adattarsi alle caratteristiche della sorgente e alle richieste di sicurezza,

rappresentano una delle misure più efficaci in termini di riduzione del rumore, anche se spesso di difficile inserimento paesaggistico in contesti urbani.

- opere di miglioramento acustico al ricettore, ad esempio aumentando l'isolamento offerto dalla facciata si può ridurre il livello di rumore interno a cui si è potenzialmente esposti nella configurazione di finestre chiuse.

Recentemente, in ambito urbano più del 50% delle misure adottate per gestire la riduzione del rumore si è concentrata su interventi alla sorgente, per questo si è puntato su asfalti fonoassorbenti e mobilità elettrica sia privata che pubblica o micro-mobilità rappresentata da biciclette e monopattini.

Tra i metodi di riduzione del rumore, spesso rivolti alla sorgente, rientrano anche le tecniche di Controllo Attivo del Rumore (ANC). Col termine controllo attivo del rumore (ANC) si intende genericamente un sistema elettroacustico o elettromeccanico che annulla un rumore indesiderato, detto primario, utilizzando il principio di sovrapposizione degli effetti delle onde acustiche. In particolare, il sistema ANC genera un segnale acustico di "anti-rumore", avente uguale ampiezza e fase opposta, che viene combinato con il rumore primario, determinando un campo acustico risultante "nullo".

I sistemi ANC si dimostrano efficaci nell'attenuare il rumore in bassa frequenza e, in particolare se paragonati ai metodi passivi, risultano più efficienti in termini di costi ed ingombro. L'idea di cancellare il rumore col rumore è relativamente consolidata. Infatti, l'utilizzo di un microfono e di un altoparlante ad azionamento elettronico per indurre l'attenuazione del suono è stato proposto per la prima volta in un brevetto del 1936 da Lueg.

Un aspetto chiave della cancellazione attiva, ancora problematico allo stato attuale della ricerca, è la tempo-varianza dei processi fisici coinvolti. Infatti, dal momento che le caratteristiche della sorgente di rumore primario e dell'ambiente sono variabili nel tempo, la frequenza, l'ampiezza, la fase e la velocità del suono indesiderato non sono stazionarie. Un sistema ANC deve pertanto essere adattivo per far fronte a tali variazioni e, in tal senso, un tale sistema è usualmente modellizzato come un filtro adattivo. I filtri adattivi regolano i loro coefficienti per minimizzare un determinato funzionale di errore e possono essere realizzati a risposta impulsiva finita (FIR), infinita (IIR) (col vantaggio di un'implementazione ricorsiva), lattice o filtri che operano mediante trasformazioni in altri domini (esempio: Fourier, Wavelet). La tipologia di filtro adattativo più comune è quella che minimizza l'errore quadratico medio del segnale acustico rumoroso, o, in termini compatti, che utilizza il criterio Least Mean Square error (LMS). Una prima versione di cancellazione adattiva di rumore è stata proposta per la riduzione di rumore nei condotti di areazione.

Al giorno d'oggi è ormai scontato che un sistema ANC sia implementato in tecnologia digitale: i segnali provenienti (uscenti) dai (verso) trasduttori elettroacustici o elettromeccanici vengono campionati, quantizzati ed elaborati in tempo reale utilizzando sistemi di elaborazione digitale del segnale (DSP). Negli anni '80, lo sviluppo dei chip DSP ha permesso l'implementazione a basso costo di algoritmi adattativi di complessità superiore e ha incoraggiato la ricerca e l'applicazione di sistemi ANC. In tempi più recenti, anche tecnologie come quella

basata su Field Programmable Gate Array (FPGA) sono state utilizzate nella progettazione di questi sistemi data la loro estrema versatilità, soprattutto in termini di parallelizzazione dell'elaborazione che consente la gestione di sistemi multicanale più complessi.

Il progresso continuo dei sistemi ANC è dovuto anche allo sviluppo di algoritmi avanzati di elaborazione adattiva del segnale, trasduttori più economici ed efficienti, miniaturizzazione ed efficientamento dell'hardware DSP. Lo studio di algoritmi più sofisticati ha consentito una convergenza più rapida dei sistemi e una maggiore attenuazione del rumore, nonché una maggiore resistenza alle interferenze. Lo sviluppo dell'hardware nei DSP ha consentito di implementare tali algoritmi più sofisticati in tempo reale per migliorare le prestazioni del sistema. Tuttavia, sebbene la letteratura del settore si concentri molto sull'analisi teorica e (talvolta) su simulazioni al calcolatore, i lavori presenti sull'implementazione e l'analisi di sistemi reali è di gran lunga più ridotta. In molti casi, lo sviluppo teorico dimostra dei miglioramenti di interesse accademico, ma abbastanza contenuti a livello pratico e/o di applicazione industriale. E in tal senso, l'analisi della complessità realizzativa è spesso relegata ad una seconda fase rispetto allo sviluppo dell'idea stessa, sebbene tale aspetto sia di interesse concreto nel processo industriale di un prodotto che deve rispettare determinate specifiche di stabilità, efficacia, revisione, costo, manutenzione e produzione.

Negli anni si è assistito all'applicazione dei principi dell'ANC in vari ambiti che coinvolgono esperimenti sia pratici che simulati al calcolatore. A titolo esemplificativo, si possono ricordare i seguenti campi di sviluppo:

- Automotive: Silenziatori elettronici per i sistemi di scarico e induzione, attenuatori del rumore all'interno dell'abitacolo del veicolo.
- Elettrodomestici: condotti di aria condizionata, condizionatori d'aria, frigoriferi, ventilatori di scarico della cucina, lavatrici, forni, deumidificatori, tosaerba, aspirapolvere, isolamento della stanza.
- Industriale: Ventilatori, condotti d'aria, camini, trasformatori, generatori di energia elettrica, ventilatori, compressori, pompe, motoseghe, gallerie del vento, impianti rumorosi (alle sorgenti di rumore o in molte aree locali a basso impatto acustico), cabine telefoniche pubbliche, pareti divisorie degli uffici, protezioni auricolari, cuffie.
- Trasporti: Aerei, navi, barche, locomotive diesel.
- Biomedicale: risonanze magnetiche, incubatrici, sistemi per limitare il fastidio dovuto a russamento.

Strategia

L'obiettivo generale del sotto-progetto CALMA (Active noise control per il contenimento dell'impatto acustico delle sorgenti rumorose in ambiente outdoor) è quello di utilizzare tecniche di controllo attivo del rumore al fine di attenuare l'impatto sonoro prodotto da sorgenti di rumore in ambiente outdoor e di contribuire, in tal senso, ad individuare, nell'ambito del progetto più ampio STREAMING, strategie volte alla mitigazione e alla gestione dell'impatto

ambientale e dei relativi rischi in aree urbane e periurbane.

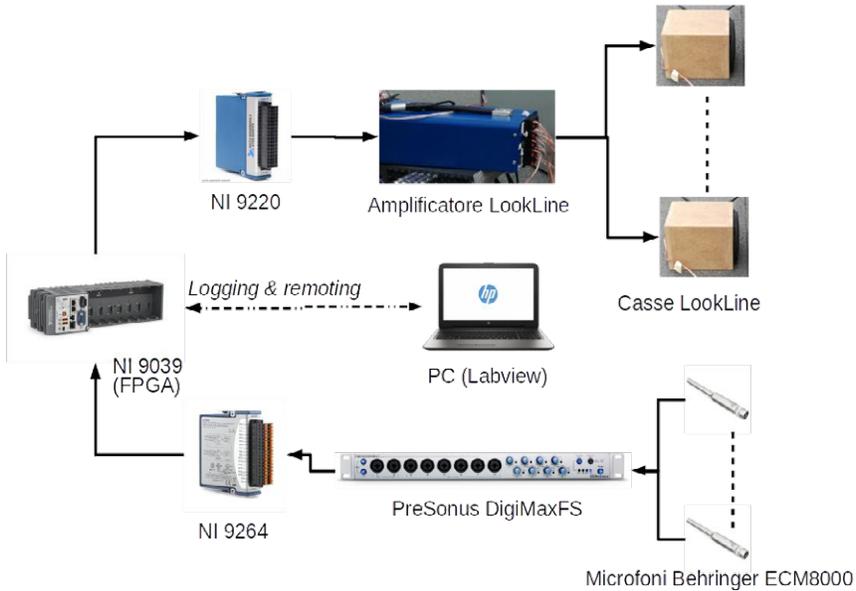
Il principale ambito di riferimento riguarda la riduzione dell'impatto acustico in ambiente urbano proveniente da sorgenti stazionarie con emissione in bassa frequenza, riconosciute come particolarmente disturbanti in termini di benessere della persona.

Il caso studio analizzato nel presente sotto-progetto ha riguardato i reattori elettrici.

I reattori elettrici sono utilizzati nelle sottostazioni elettriche per la correzione del fattore di potenza. Sono composti da un induttore di tipo a nucleo ferromagnetico, il cui scopo è quello di introdurre una reattanza induttiva in una linea di alimentazione AC ad alta corrente o in un circuito di carico per aumentarne l'impedenza. L'interazione tra le componenti AC delle tensioni di linea e il reattore stesso provoca un rumore di tono puro a bassa frequenza che ha la componente principale a 100 Hz. Questo tipo di rumore spesso non è accettabile se la sorgente è posta vicino alle zone abitate. Di conseguenza, le barriere passive sono generalmente considerate come una possibile misura di mitigazione. Tuttavia, questo tipo di intervento è legato ad una barriera di dimensioni e costi molto grandi con un effetto molto scarso, con un rapporto costo/efficacia spesso non adeguato. Infatti, il sistema ANC sembra essere una possibile misura di riduzione del rumore molto efficace contro un rumore di tono puro a bassa frequenza.

In generale, i reattori elettrici hanno una forma cilindrica di circa 4 m di altezza e 1,5 m di diametro. Inoltre, vicino alla macchina, su due lati, ci sono generalmente due pareti contro la propagazione del fuoco. Quando operano nelle reti elettriche, questi sistemi sono alimentati da alte tensioni, quindi non è pratico sviluppare e testare la cancellazione del rumore direttamente sul campo.

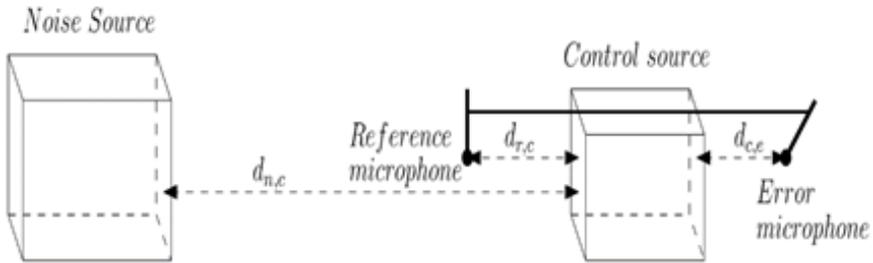
Le attività sperimentali hanno riguardato, innanzitutto, la progettazione, realizzazione e assemblaggio del sistema di ANC. Il sistema ANC è stato progettato interfacciando molteplici sottosistemi elettronici e/o elettromeccanici (fig. 1).

Figura 1. Schema sistema ANC progettato

Il fulcro del sistema ANC progettato è rappresentato dall'unità di calcolo/controllo, implementata sulla scheda FPGA a bordo dell'unità National Instruments (NI) CompactRIO 9039. Essa si occupa di gestire in tempo reale i segnali di input provenienti dai sensori di acquisizione e, conseguentemente, di generare i segnali di controllo per le sorgenti secondarie, in accordo con l'algoritmo di controllo implementato.

È stato definito un protocollo di calibrazione per il sistema progettato. La procedura di calibrazione deve essere eseguita al termine dell'installazione fisica del sistema ANC e prima dell'accensione dello stesso. Inoltre, deve essere ripetuta ogni qualvolta si modifichi la geometria relativa fra microfoni di errore e sorgenti secondarie, o si introducano oggetti che interferiscono in modo rilevante sul campo acustico in prossimità del sistema ANC. Affinché la procedura abbia un esito positivo e il sistema ANC sia performante, è necessario che essa sia svolta in assenza del rumore prodotto dalla sorgente primaria ed in condizioni di rumore ambientale limitato.

Per testare in maniera approfondita e sviluppare il sistema di cancellazione del rumore, come step intermedio, è stato progettato e implementato un modello in scala del reattore (simulacro) (fig 2 e fig.3).

Figura 2. Simulacro per il test del sistema ANC

Figura 3. Schema di un sistema ANC feed-forward a canale singolo

Il cilindro blu modella la forma del reattore e il rumore è generato attraverso un altoparlante woofer all'interno del mock-up. Per simulare le riflessioni delle pareti di contenimento a prova di fiamma, il modello del reattore è stato posto tra due pareti riflettenti.

Come segnale acustico viene selezionato un rumore periodico stazionario nel tempo costituito da tono puro centrato sulla frequenza di 100 Hz ed emesso dall'altoparlante woofer.

La configurazione di ANC è caratterizzata da un set di microfoni di errore per raccogliere il rumore residuo, un set di altoparlanti (sorgenti di controllo) per l'emissione di un segnale in controfase rispetto al rumore prodotto dalla sorgente primaria, un'unità di elaborazione FPGA per l'ANC e un'interfaccia PC per monitorare e controllare l'esecuzione.

Le prestazioni del sistema ANC progettato sono state valutate sul simulacro confrontando le misure del livello di pressione sonora (SPL) effettuate in posizioni specifiche identificate a varie distanze su una direzione principale di propagazione e su direzioni secondarie di propagazione.

I risultati sperimentali sono stati ottenuti considerando le quattro configurazioni (fig. 4); per ciascuna di queste configurazioni le prestazioni di abbattimento del rumore sono state valutate in 7 diverse posizioni fisse utilizzando un microfono di controllo indipendente.

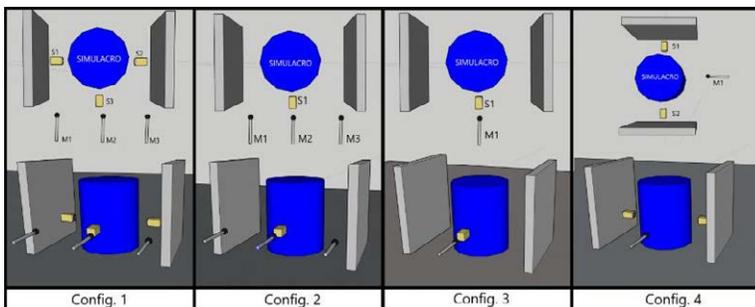
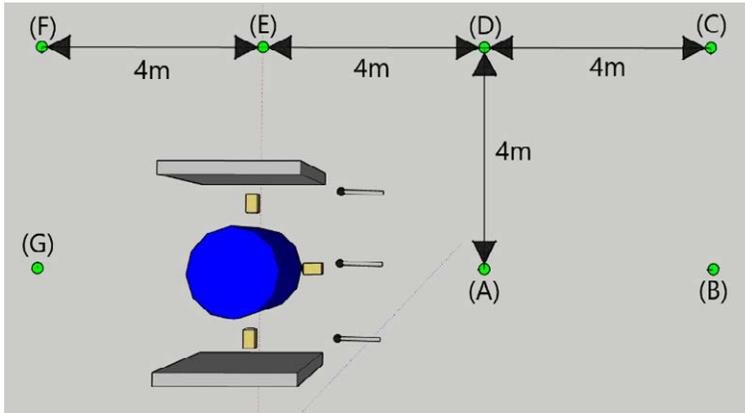
Figura 4. Configurazioni per i test

Le posizioni dei microfoni di controllo (fig. 5). I microfoni di controllo sono stati posizionati a 1,5 m dal suolo. In ogni posizione i livelli di rumore sono stati eseguiti con l'ANC spento e acceso. Sistema 'on' significa che al momento della misurazione il transitorio del sistema di controllo è trascorso, con un livello stabile di segnale sui microfoni di errore. L'abbattimento del rumore è stato effettuato non solo nella direzione obiettivo di abbattimento (posizioni A-B), ma anche in altre direzioni secondarie.

Figura 5. Posizioni microfoni di controllo durante i test

Analizzando i risultati delle diverse configurazioni, è possibile evidenziare che c'è un abbattimento significativo (7-10 dB) nella direzione scelta per l'attenuazione (posizioni A-B). Inoltre, si può osservare un comportamento inaspettato nelle posizioni D ed E, probabilmente riferito alle condizioni del nodo del campo acustico generato dalla sorgente primaria (le condizioni di nodo sono posizioni in cui il livello di pressione sonora è ridotto anche in presenza della sola sorgente primaria).

Infine, è possibile notare che le configurazioni 1 (tab. 1) e 4 (tab. 2) portano ad un abbattimento generalizzato (ad eccezione delle posizioni nodali D ed E). Nelle configurazioni 2 e 3 invece, l'abbattimento è concentrato nella direzione A e B.

Tabella 1. Risultati configurazione 1

Noise abatement at 100Hz - 3 loudspeakers and 3 microphones (configuration 1)			
Test Position	ANC system off	ANC system on	Abatement (dB)
A	83	75	8
B	82	75	7
C	64	58	6
D	66	68	-2
E	73	76	-3
F	80	65	15
G	84	73.5	10.5

Tabella 2. Risultati configurazione 4

Noise abatement at 100Hz - 2 loudspeakers and 1 microphone (configuration 4)			
Test Position	ANC system off	ANC system on	Abatement (dB)
A	83	75	8
B	81.5	73.5	8
C	79.3	68	11,3
D	73	75	-2
E	74	79	-5
F	83	73	10
G	82	74	8

Ulteriori dettagli sono disponibili in un articolo presentato in forma di poster al convegno *Internoise 2020*, svoltosi in modalità online.

Impatti

Nell'ambito dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, quale programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU, vengono identificati 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – Sustainable Development Goals, SDGs.

Tra questi, l'attività del caso studio del progetto CALMA contribuisce in particolare al n° 3 "Salute e benessere", e al n°11 "Città e comunità sostenibili", con particolare riferimento alla riduzione, entro il 2030, dell'impatto ambientale negativo pro capite delle città con specifico riferimento all'inquinamento acustico.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità – WHO, la prolungata esposizione all'inquinamento acustico è associata al rischio del verificarsi di esiti negativi per la salute fisiologica e psicologica delle persone.

È stato stimato che l'inquinamento da rumore stradale colpisce almeno il 20% della popolazione europea che vive nelle aree urbane, dove i livelli di rumore da traffico stradale risultano essere dannosi per la salute.

Il rumore presente esterno alle aree urbane è rappresentato per il 52% da traffico ferroviario, per il 70% da aeroportuale, mentre il 39% è rappresentato da quello veicolare distribuito tra strade statali ed autostrade.

Il rumore provoca effetti avversi sulla comunicazione, sul sonno e sull'umore, sulla capacità di apprendimento a scuola dei bambini, sull'apparato cardiovascolare e sulla diminuzione dell'udito.

Riguardo i bambini, se questi sono esposti a rumore cronico possono manifestare deficit nella capacità di concentrazione. Sembra che essi sviluppino, per far fronte all'effetto distraente del rumore, strategie di apprendimento che causano stress psico-fisico. Numerosi studi hanno poi documentato un collegamento fra rumore e risultati scolastici, in particolare la capacità nella lettura. Il rumore cronico ha effetti negativi sull'abilità nella lettura, al contrario del rumore acuto che sembra avere scarsi effetti. Ci sono prove che suggeriscono che i bambini residenti in zone rumorose e che frequentano scuole ubicate in vicinanza di importanti sorgenti di rumore (traffico stradale, aeroporto, ecc.), si trovano più svantaggiati rispetto ai bambini residenti in zone più tranquille. Anche l'abilità nella lingua parlata sembra essere correlata alle capacità nella lettura, per cui risulterebbe che il rumore è in relazione con entrambe.

In particolare, il rumore può interferire con le attività mentali che richiedono molta attenzione, memoria ed abilità nell'affrontare problemi complessi. Le strategie di adattamento (come regolare o ignorare il rumore) e lo sforzo necessario per mantenere le prestazioni sono state associate ad aumento della pressione arteriosa e ad elevati livelli ematici degli ormoni legati allo stress.

I fattori che possono condizionare la lesività dell'impatto sonoro nel soggetto esposto sono molteplici; per ciò che riguarda il disturbo ed il danno in generale, e più in particolare il danno specifico, hanno rilevanza preminentemente il livello della pressione sonora, il tempo di esposizione e la composizione in frequenza del rumore.

La reazione di fastidio aumenta ampiamente in base ai livelli di rumore; la maggior parte degli esseri umani risulta moderatamente infastidita a 50 dB LAeq ed in modo preoccupante a 55 dB LAeq. Solamente un terzo delle sensazioni di fastidio è dovuto ai livelli di rumore, infatti la maggior parte delle persone intervistate lamenta disturbo legato caratteristiche in frequenza ben definite e spesso riferito a sorgenti che generano toni puri. Nell'analisi in frequenza contribuisce negativamente anche l'eventuale presenza di componenti tonali, al verificarsi delle quali vengono attribuite delle penalizzazioni pari a +3 dB. Nel caso in cui esse si verifichino in bassa frequenza nel periodo notturno si sommano ai precedenti altri 3 dB in accordo con il DM 16/3/1998.

Il rumore degli aerei, e in generale il rumore che è composto anche da basse frequenze o accompagnato a vibrazioni come quello delle sottostazioni trattate nel presente caso studio, risulta più fastidioso di altri tipi di rumore.

Il caso studio trattato dal caso studio CALMA affronta proprio la circostanza specifica legata al rumore in bassa frequenza e alla presenza di componenti tonali, particolarmente accentuata nel periodo notturno e responsabile di disturbi del sonno.

Sviluppi

Il lavoro e gli obiettivi conseguiti attraverso il sotto-progetto CALMA saranno ulteriormente sviluppati attraverso l'ottimizzazione delle configurazioni e del set up con lo scopo di definire la migliore configurazione da utilizzare sul campo, nella sottostazione elettrica, per testare il sistema ANC in presenza della sorgente reale del reattore. A tal fine saranno presentate ulteriori richieste di finanziamento per bandi regionali e nazionali. Riguardo alle altre attività in corso collegate o conseguenza dell'attività sviluppata nel sotto-progetto CALMA si evidenzia come presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale sia stato attivato un Dottorato di Ricerca sul tema ANC e sia recentemente iniziato un nuovo progetto sul controllo attivo del rumore prodotto dalla sirena delle ambulanze all'interno del veicolo (finanziato su bando POR-FESR).

Note bibliografiche

European Environment Agency, Environmental noise in Europe, 2020, doi: 10.2800/686249.

P. A. Nelson, S. J. Elliott, Active Control of Sound, SanDiego, CA: Academic, 1992

S. M. Kuo, D. R. Morgan, Active Noise Control Systems—Algorithms and DSP Implementations, New York: Wiley, 1996

C. R. Fuller, S. J. Elliott, P. A. Nelson, Active Control of Vibration. San Diego, CA: Academic, 1996.

C. H. Hansen, S. D. Snyder, Active Control of Noise and Vibration, London, U.K.: E&FN Spon, 1997.

P. Lueg, Process of silencing sound oscillations, U.S. Patent 2 043 416, June 9, 1936.

G. C. Goodwin, K. S. Sin, Adaptive Filtering Prediction and Control, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.

B. Widrow, S. D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.

C. F. N. Cowan, P. M. Grant, Adaptive Filters, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.

M. L. Honig, D. G. Messerschmitt, Adaptive Filters: Structures, Algorithms, and Applications, Boston, MA: Kluwer, 1986.

S. T. Alexander, Adaptive Signal Processing, New York: Springer-Verlag, 1986.

J. R. Treichler, C. R. Johnson, Jr., M. G. Larimore, Theory and Design of Adaptive Filters, New York: Wiley, 1987.

M. Bellanger, Adaptive Digital Filters and Signal Analysis, New York: Marcel Dekker, 1987.

S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.

P. M. Clarkson, Optimal and Adaptive Signal Processing, Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.

J. C. Burgess, Active adaptive sound control in a duct: A computer simulation, J.

Acoust. Soc. Amer., vol. 70, pp. 715–726, Sept. 1981.
G. E. Warnaka, J. Tichy, L. A. Poole, Improvements in adaptive active attenuators, in Proc. Inter-noise, 1981, pp. 307–310.
K. Kido, Reduction of noise by use of additional sound sources, in Proc. Inter-noise, 1975, pp. 647–650.
C. F. Ross, A demonstration of active control of broadband sound, J. Sound Vib., vol. 74, no. 3, pp. 411–417, 1981.
S. M. Kuo, C. Chen, Implementation of adaptive filters with the TMS320C25 or the TMS320C30, in Digital Signal Processing Applications with the TMS320 Family, vol. 3, P. Papamichalis, Ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1990, ch. 7, pp. 191–271.
L. J. Eriksson, Computer-aided silencing—An emerging technology, Sound Vib., vol. 24, pp. 42–45, July 1990.
S. M. Kuo, D. R. Morgan, Active noise control: a tutorial review, Proc. of IEEE, vol.87, no.6, pp.943-973, June 1999.
Y. Kajikawa, W.-S. Gan, S. M. Kuo, Recent advances on active noise control: open issues and innovative applications, APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, vol. 1, p. e3, 2012.
Bartalucci, C., Borchi, F., Carfagni, M., Paolucci, L., Analysis and development of an active noise control system for the cancellation of noise produced by the reactors of electric stations, Proceedings of Internoise 2020 Conference, 23-26 August 2020, online.
World Health Organization, Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018.

Caso di studio FLORERISK

Andrea Giachetti, Gianni Bartoli

Abstract: Mediante un approccio multidisciplinare, il progetto FLORERISK si focalizza sulla riduzione del rischio di caduta alberi in ambiente urbano a causa di eventi estremi, anche legati al cambiamento climatico. Infatti, per quanto siano ufficialmente riconosciuti i molteplici benefici del verde urbano, la sua vulnerabilità non deve portare a conseguenze eccessivamente negative. Il lavoro svolto ha permesso di definire una procedura di quantificazione del rischio da caduta alberi a causa di eventi meteorologici intensi, utile ai soggetti interessati alla gestione del verde urbano. Attraverso la procedura proposta, è possibile quantificare azioni di mitigazione del rischio e ricavare indicatori utili a pianificare opportuni interventi di manutenzione e gestione.

Keywords: Multi-rischio, verde urbano, resilienza, cambiamento climatico, vento e alberi

Problematica

L'ambiente urbano può rivelarsi vulnerabile nei confronti di diversi pericoli naturali: terremoti, precipitazioni estreme e trombe d'aria sono solo alcuni dei possibili eventi che possono causare "una grave interruzione del funzionamento di una comunità o società ad ogni scala […] portando a una o più delle seguenti perdite o impatti: umana, materiale, economica e ambientale" (UNISDR, 2009). Documenti di riferimento in ambito gestione di disastri naturali, come il Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030 e gli Obiettivi di sviluppo sostenibile del programma Agenda 2030, forniscono indicatori utili a misurare i progressi verso una riduzione dei rischi e delle perdite ad essi correlate. Le strategie riassunte in questi documenti sono definite a livello globale, ma sono pensate per essere applicate nel contesto locale mediante azioni che conducano a risultati misurabili.

Dal presente progetto è emerso che alcune tipologie di calamità naturali meno affrontate dalla letteratura scientifica sono più complesse da implementare in un piano di mitigazione del rischio da parte degli enti locali. Questo aspetto, unito al fatto che determinati eventi naturali fino a poco tempo fa avevano interessato il territorio Europeo (e quindi anche quello Toscano) in rare occasioni, ha definitivamente indirizzato il lavoro sui disastri che possono causare venti estremi e precipitazioni intense in ambito urbano. In particolare, il lavoro si è focalizzato

Chiara Bartalucci, University of Florence, Italy, chiara.bartalucci@unifi.it
Federico Fagioli, University of Florence, Italy, federico.fagioli@unifi.it, 0000-0002-3283-403X
Andrea Giachetti, University of Florence, Italy, andrea.giachetti@unifi.it, 0000-0001-5984-7124
Alberto Niccolai, University of Florence, Italy, alberto.niccolai@unifi.it, 0000-0002-3493-7219
Leonardo Verdi, University of Florence, Italy, leonardo.verdi@unifi.it, 0000-0001-7030-0496

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Chiara Bartalucci, Federico Fagioli, Andrea Giachetti, Alberto Niccolai, Leonardo Verdi (edited by), *PROGETTO STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano. Azioni locali di sostenibilità: cinque progetti per il futuro del territorio toscano*, © 2022 Author(s), CC BY 4.0, published by Firenze University Press, ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-541-7

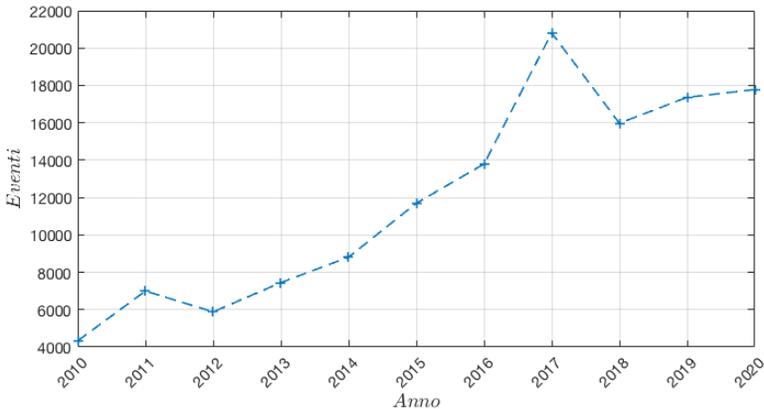
sulla riduzione del rischio di caduta alberi, riconoscendo in questi un elemento vulnerabile di estremo interesse. Infatti, per quanto siano ufficialmente riconosciuti i molteplici benefici del verde urbano (es. EC, 2012, FAO, 2016), la sua vulnerabilità non deve comunque portare a conseguenze eccessivamente negative (il lettore interessato può consultare anche, ad esempio, Gill et al., 2007, Livesley et al., 2016, Berland et al., 2017 per approfondire su mitigazione dell'effetto isola di calore, riduzione di allagamenti causati da precipitazioni intense, ed altri aspetti riguardanti il ruolo del verde urbano).

Metodi semplici, e tutto sommato efficaci, di gestione del verde urbano incentrati sul rischio caduta alberi sono stati proposti in passato (es. Pokorny, 1992, Lonsdale, 2000, Forbes-Laird, 2006), e alcune associazioni hanno provato a implementarli a livello locale (es. AIDTPG, 2015). Nonostante il loro indiscutibile valore, soprattutto in termini di praticità, il rischio viene spesso trattato solo in maniera qualitativa. Nei pochi casi in cui è stato proposto un metodo quantitativo, la stima del rischio implicava una soggettività tale da poter sensibilmente inficiare il risultato, in quanto "fortemente dipendente dalle capacità e dall'esperienza del perito" (es. Ellison 2005).

Mediante un approccio fortemente multidisciplinare, FLORERISK ha permesso di definire una procedura analitica per quantificare il rischio di caduta alberi in ambiente urbano a causa dell'azione di venti estremi con e senza precipitazioni. Questo strumento, che non vuole andare a sostituire bensì ad integrare le pratiche di chi quotidianamente si occupa di verde urbano, permetterà di incrementare la resilienza degli ambienti urbani verso rischi naturali attuali e futuri, anche nell'ottica del cambiamento climatico in corso.

Strategia

Il primo passo è stato quello di interpretare gli eventi estremi avvenuti in Toscana negli ultimi anni, come quelli che hanno colpito Firenze nel 2015 e nel 2018. A livello Europeo, grazie ai dati raccolti dall'European Severe Weather Database (Dotzek et al., 2009) si è osservato che eventi caratterizzati da piogge intense, tornado e venti forti si sono quasi quadruplicati dal 2010 al 2020. Parallelamente, in Italia, si è constatato che quasi un terzo dei 946 eventi estremi registrati in quest'ultimo decennio era legato a eventi ventosi estremi (Legambiente, 2020). L'evidente aumento di eventi meteorologici estremi in termini di frequenza e intensità ha posto la sfida di sviluppare una procedura che possa permettere di quantificare il rischio attuale, ma anche quello atteso in futuro.

Figura 1. Eventi estremi registrati ogni anno sul territorio Europeo, corrispondenti alle voci: heavy rain, tornadoes e severe wind gust. European Severe Weather Database (Dotzek et al., 2009), parte del progetto: European Severe Storm Laboratory

Un ulteriore passo è stato quello di comprendere il comportamento biomeccanico di un albero sottoposto all'azione del vento. Nei numerosi studi di scientifici che trattano la stabilità degli alberi, l'essere vivente albero è stato modellato nei più disparati modi, passando da sistemi meccanici elementari a modelli estremamente complessi (es. Baker and Bell, 1992, Gardiner et al., 2000, Ancelin et al., 2004, Kim et al., 2020). Questa variabilità, che ovviamente si è ritrovata anche nella modellazione dell'azione del vento, ha fortemente influenzato la procedura di analisi del rischio proposta. Infatti, dato che modelli più o meno accurati possono portare a risultati diversi, è stato necessario trovare un modo per caratterizzare l'analisi, mirando a risultati più oggettivi possibile.

Dato che il lavoro era incentrato sulle città, non si poteva prescindere dalla posizione che gli alberi possono avere rispetto al costruito circostante, dato che questo influenza fortemente le caratteristiche del vento impattante (es. Cermak et al., 1993). Sfruttando strumenti simili a quelli utilizzati per lo studio del comfort per i pedoni (es. Blocken et al., 2016), è stato possibile studiare l'effetto della morfologia urbana in termini di amplificazione/deamplificazione del vento a livello locale, ed è stato trovato il modo di includere questo aspetto nella procedura di analisi del rischio.

La caduta di un albero sottoposto all'azione del vento porterebbe ad un rischio nullo se non vi fossero dei "target" sensibili che possono essere colpiti nella sua traiettoria verso terra. Pertanto, si è cercato di capire se nella letteratura esistente vi fossero indicazioni utili a stimare l'entità di un possibile danno causato dalla caduta di un albero, in particolare quando vengono coinvolti traffico veicolare, pedoni o edifici (es. Ellison, 2005).

Infine, una volta sviscerati gli aspetti appena introdotti, è stato integrato il tutto in una procedura quantitativa di analisi del rischio. Questa è stata testata su una

porzione di territorio Fiorentino, con l'obiettivo di individuarne potenzialità e criticità.

Figura 2. Schema delle componenti utilizzate per la stima del rischio

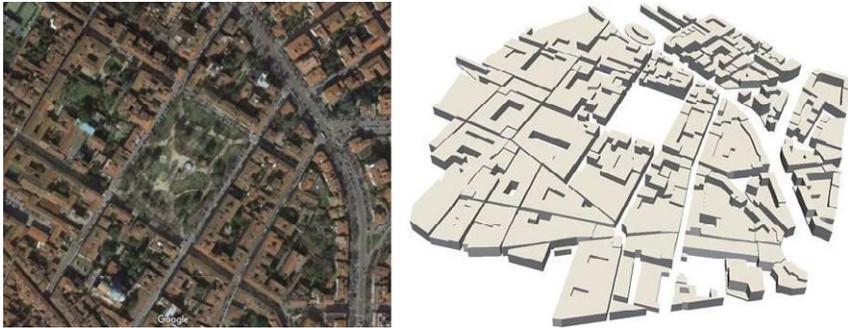
Figura 3. Caso studio sul territorio Fiorentino: piazza Massimo D'Azeglio (da Giachetti et al., 2021)

La procedura, pubblicata su una rivista scientifica internazionale (Giachetti et al., 2021), si basa sul seguente schema logico: (*i*) dato che un albero può essere modellato come un sistema meccanico più o meno complesso, è possibile definire una velocità del vento per la quale l'albero collassa (Critical Wind Speed); (*ii*) note le statistiche dei venti che interessano la città contenente l'albero analizzato, è possibile avere una probabilità di superamento della Critical Wind Speed (CWS) definita al punto precedente; (*iii*) il valore della CWS e delle statistiche possono essere corrette tenendo conto dei possibili effetti amplificativi causati dal costruito circostante all'albero; (*iv*) il danno economico causato dalla possibile caduta dell'albero può essere stimato sulla base della probabilità che vi siano dei target sensibili all'interno dell'area di influenza dell'albero stesso. L'aspetto innovativo della procedura proposta consiste nell'introduzione di due elementi di caratterizzazione dell'analisi: uno relativo all'estensione sulla quale l'analisi viene condotta, l'altro inerente al livello di accuratezza impiegato nella trattazione di ognuno degli elementi che combinati portano alla stima del rischio.

Figura 4. Uno degli elementi caratterizzanti la procedura di analisi del rischio riguarda l'estensione spaziale sulla quale essa viene condotta. Come sopra riportato, in Giachetti et al., 2021, vengono distinte tre scale spaziali in ordine decrescente

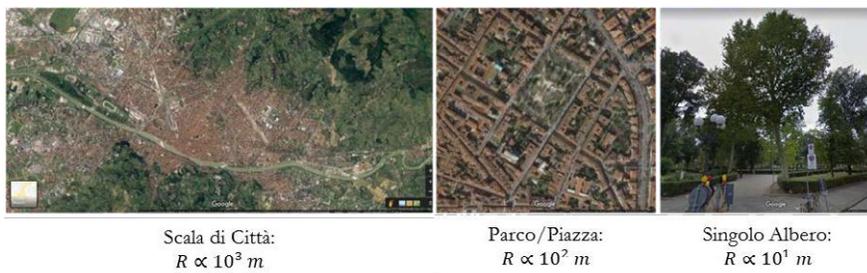
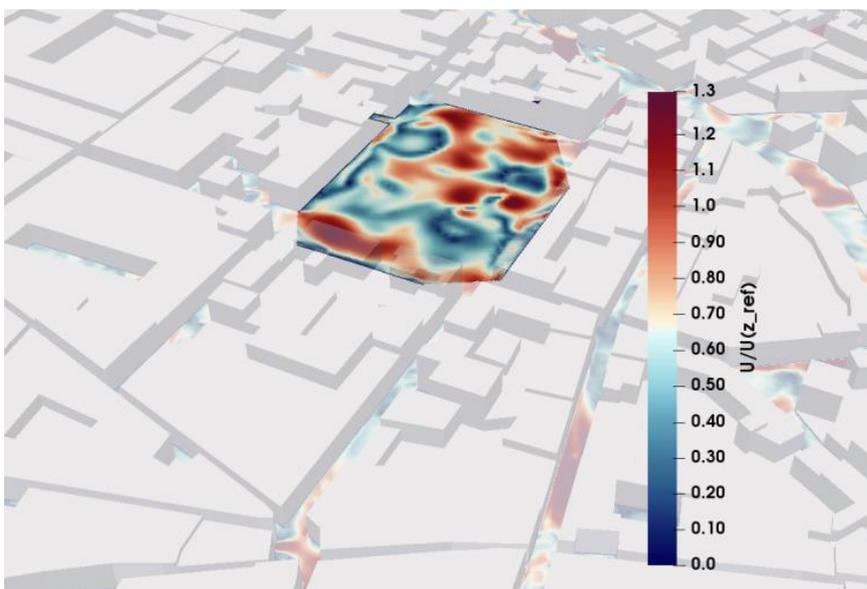



Figura 5. Risultato di una simulazione numerica eseguita con lo scopo di valutare possibili effetti amplificativi del contesto urbano: distribuzione della velocità istantanea (normalizzata rispetto al valore che si avrebbe, alla medesima quota, per flusso indisturbato) a 2 m da terra per il caso studio della città di Firenze

Impatti

Il lavoro svolto ha permesso di giungere a una procedura di quantificazione del rischio da caduta alberi, utile alle amministrazioni locali e/o altri soggetti interessati alla gestione del verde urbano.

In linea con l'obiettivo strategico III.1 dell'area tematica *Pianeta* contenuta all'interno della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS), grazie al progetto FLORERISK, sarà possibile stimare il rischio attuale e quantificare eventuali azioni di mitigazione del rischio, fornendo così degli indicatori utili a pianificare opportuni interventi di manutenzione e gestione del verde urbano. Il progetto ha inoltre permesso di rafforzare il ruolo e l'interazione della ricerca con i contenuti e le priorità di attuazione della SNSvS, con ricadute su diversi Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile. In particolare:

- agevolando una diffusione di conoscenza, sia scientifica che divulgativa in senso lato, atta a "Supportare i positivi legami economici, sociali e ambientali tra aree urbane, periurbane e rurali rafforzando la pianificazione dello sviluppo nazionale e regionale" (traguardo 11.a, Agenda 2030);
- contribuendo a conoscere sempre meglio i possibili effetti amplificativi del contesto urbano e gli elementi vulnerabili del proprio territorio, facilitando così l'implementazione di politiche integrate tese "…all'efficienza delle risorse, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, alla resistenza ai disastri..." (traguardo 11.b);
- aiutando a comprendere come "Integrare le misure di cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazione nazionali" (traguardo 13.2);
- contribuendo a "…fornire accesso universale a spazi verdi e pubblici sicuri, inclusivi e accessibili, in particolare per donne, bambini, anziani e disabili" (traguardo 11.7)

Il tema affrontato nel progetto è caratterizzato da una forte interdisciplinarità, nel quale diverse dimensioni della sostenibilità sono coinvolte. Garantire un verde urbano sicuro significa assicurare elevati standard di benessere e salute delle persone. La possibilità di quantificare il rischio legato alla caduta di alberi può portare alla riforestazione dei parchi urbani, e comunque a ridurre gli abbattimenti, contribuendo così anche a migliorare il comportamento nei confronti di problemi interconnessi.

Sviluppi

Sulla base dei risultati ottenuti sono stati impostati altri progetti di ricerca, per migliorare la procedura sviluppata, facilitarne l'implementazione e ampliarne l'ambito applicativo. Due di questi, uno con il Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze, e uno con la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, sono da poco stati avviati e permetteranno rispettivamente di implementare la procedura in un caso studio con caratteristiche profondamente diverse da quello già testato, e di approfondire gli effetti del contesto urbano sulla stabilità degli alberi. La modularità della procedura ottenuta permette tanto di approfondire separatamente i singoli elementi del rischio quanto di estendere la sua applicazione ad altri oggetti vulnerabili presenti nelle nostre città, come elementi di arredo urbano, tegole e pareti verdi (in quest'ottica è stato presentato il progetto PRIN2020 "Wind-borne flying debris impact resistance of facades in the Euro-Mediterranean region. The case Study of Italy", in attesa di valutazione).

Note bibliografiche

AIDTPG, 2015. Linee guida per la gestione dei patrimoni arborei pubblici (nell'ottica del Risk Management). Editoriale Sometti, Mantova.

Ancelin, P., Courbaud, B., Fourcaud, T., 2004. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. Forest Ecology and Management 203, 101–121. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.067

Baker, C., Bell, H., 1992. The aerodynamics of urban trees. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 44, 2655-2666. https://doi.org/10.1016/0167-6105(92)90057-H

Berland, A., Shiflett, S.A., Shuster, W.D., Garmestani, A.S., Goddard, H.C., Herrmann, D.L., Hopton, M.E., 2017. The role of trees in urban stormwater management. Landscape and Urban Planning 162, 167–177. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017

Blocken, B., Stathopoulos, T., van Beeck, J.P.A.J., 2016. Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment. Building Environment 100, 50–81. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.004

Cermak, J.E., Davenport, A.G., Plate, E.J., Viegas, D.X., 1993. Wind Climate in Cities, 23-39. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Wind Climate in Cities Waldbronn, Germany. July 5-16, 1993.

Dotzek, N., P. Groenemeijer, B. Feuerstein, and A. M. Holzer, 2009a: Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. Atmos. Res., 93, 575−586

EC, 2012. The Multifunctionality of Green Infrastructure. Science for Environmental Policy. DG Environment News Alert Service. In-depth Reports. 37 (from https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green_Infrastructure.pdf)

Ellison, M.J., 2005. Quantified tree risk assessment used in the management of amenity trees. Journal of Arboriculture 31, 57–65.

FAO, 2016. Guidelines on urban and peri-urban forestry, by F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro and Y. Chen. FAO Forestry Paper 178, 170. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Forbes-Laird, J., 2006. THREATS: Tree hazard rating, evaluation and treatment system. A method for identifying, recording & managing hazards from trees. Dendron House, 74 Barford Road, Blunham, Bedford.

Gardiner, B., Peltola, H., Kellomäki, S., 2000. Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. Ecological Modelling 129, 1–23. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00220-9

Giachetti, A., Ferrini, F., Bartoli, G., 2021, A risk-analysis procedure for urban trees subjected to wind- and rainstorm, Urban Forestry and Urban Greening 58 (2021) 126941

Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit, S., 2007. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment 33, 115–133.

https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115
Kim, Y., Rahardjo, H., Tsen-Tieng, D.L., 2020. Stability analysis of laterally loaded trees based on tree-root-soil interaction. Urban Forestry and Urban Greening 49, 126639. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126639
Legambiente, Rapporto 2020 “il clima è già cambiato”, https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2020/11/Rapporto-cittaclima-2020.pdf accessed on: 25th November 2020
Livesley, S.J., McPherson, G.M., Calfapietra, C., 2016. The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. Journal of Environmental Quality 45, 119–124. https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567
Lonsdale, D., 2000. Hazards from trees. A general guide. Practice guide, ed. Forestry Commission, Edinburgh, United Kingdom.
Pokorny, J.D., 2003. Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation, USDA Forest Service, Northeastern Area St, Paul, MN.
Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030
United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNISDR, “2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction”, Genova - Maggio 2009

Il progetto STREAMING - STRategiE di mitigazione e gestione dei rischi AMbientalI: casi di studio Nel territorio reGionale Toscano ha ricevuto il finanziamento dalla Regione Toscana nell'ambito del programma POR FSE 2014-2020 fondo sociale europeo. Il progetto ha finanziato cinque assegni di ricerca, per altrettanti casi studio, di durata triennale (dal 2018 al 2021) presso i Dipartimenti DAGRI, DICEA e DIEF dell'Università degli Studi di Firenze. Il presente documento costituisce un manuale di buone pratiche in cui sono raccolti i principali risultati ottenuti dal progetto STREAMING e dove viene evidenziata la sinergia tra questi ultimi e gli obiettivi globali di sviluppo sostenibile (SDGs) della Regione Toscana.

Chiara Bartalucci, ingegnere ambientale, è ricercatrice post-Doc all'Università di Firenze ed esperta di acustica e project management. Nel 2018 ha ricevuto il Young Researcher Award dall'EAA e nel 2020 un premio per la migliore tesi di dottorato in acustica. È autrice di più di quaranta articoli scientifici.

Federico Fagioli, ingegnere meccanico-energetico, è un ricercatore post-doc all'Università di Firenze specializzato in termodinamica e cicli di conversione dell'energia. Collabora con diverse aziende in progetti strategici di ricerca e sviluppo. È autore di numerosi articoli scientifici.

Andrea Giachetti, ingegnere strutturista, conclude il dottorato internazionale nel 2017. Nello stesso anno riceve un premio internazionale dal CTBUH. Nel 2020 riceve una menzione speciale dall'ANIV in ambito di ingegneria del vento. Attualmente lavora per l'Università degli Studi di Firenze.

Alberto Niccolai ha conseguito il dottorato di ricerca europeo nel 2017 in Scienze Agrarie e Ambientali. È ricercatore post-doc presso il DAGRI dell'Università di Firenze. Si occupa di microalghe per la produzione di nuovi alimenti e bioattivi per l'agroindustria. È coautore di oltre venti articoli.

Leonardo Verdi è assegnista di ricerca al DAGRI dell'Università di Firenze. Ha conseguito il dottorato di ricerca nel 2018 in Scienze agrarie e ambientali. Le sue attività di ricerca sono: studio delle emissioni di gas serra dal sistema suolo-pianta-atmosfera; gestione della fertilizzazione e sostenibilità delle attività agricole.

ISSN 2704-601X (print)
ISSN 2704-5846 (online)
ISBN 978-88-5518-541-7 (PDF)
ISBN 978-88-5518-543-1 (XML)
DOI 10.36253/978-88-5518-541-7
www.fupress.com